

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Využití laseru při výrobě postupových lisovacích nástrojů

The Use of Laser in the Manufacture of Progressive Dies

Student:

Bc. Odstrčil Radek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radek Odstrčil**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Využití laseru při výrobě postupových lisovacích nástrojů**
The Use of Laser in the Manufacture of Progressive Dies

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Technologie výroby složitých součástí.
3. Návrh vhodné technologie pro vybraný postupový nástroj.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Šanovec

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. května 2012



Odstrčil Radek

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon – zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnutou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě 21. května 2012



Odstrčil Radek

Adresa trvalého pobytu:

Odstrčil Radek

Svébohov 21

789 01 Zábřeh

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ODSTRČIL R. Využití laseru při výrobě postupových lisovacích nástrojů,
Ostrava: Katedra obrábění a montáže, VŠB-Technická univerzita
Ostrava Fakulta strojní, 2012.
Diplomová práce, vedoucí: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Tato diplomová práce se zabývá výrobou lisovacího postupového nástroje, při které je využita technologie řezání laserem. Práce je zpracována ve výrobních podmínkách společnosti Klein & Blažek spol. s r.o. závod Štíty. Postupový lisovací nástroj je použit v sériové výrobě na lisovacím postupovém stroji KAISER 4000. Slouží k lisování dílců pro firmu Fuji Koyo. V práci je popsán stávající postup výroby lisovacího postupového nástroje a následně je popsán nově navržený postup. V závěrečné části jsou uvedeny, vyhodnoceny a porovnány náklady spojené s výrobou nástroje při použití původního a nově navrženého postupu výroby.

ANNOTATION OF THESIS

ODSTRČIL R. The Use of Laser in the Manufacture of Progressive Dies
Ostrava: Department of Machining and Assembly, VŠB – Technical
University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 2012.
Thesis, head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

This dissertation is devoted to the production of the preliminary compression device tool where is used the Laser cutting technology. The work is made in the manufacturing and working conditions of the firm Klein and Blažek – limited liability company in the works in Štíty. The preliminary compression device is used in series production based on the preliminary compression device Kaiser 4000. It is used for pressing and moulding of segments for the firm Fuji Koyo. In my work is described present technological process of the preliminary compression device and after that there is described the new proposed means or method. In the final part of my work are mentioned, evaluated and compared cost out connected with the production of the tool by using the former or the latest method of the manufacturing.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Obecná charakteristika daného problému.....	10
2.1	Obecná charakteristika společnosti Klein & Blažek spol. s.r.o.	10
2.2	Typické výrobky společnosti:	11
2.3	Popis současné výroby a strojního vybavení	12
3	Technologie výroby složitých součástí.....	16
3.1	Technologie obrábění ultrazvukem.....	16
3.2	Technologie obrábění proudem abraziva	17
3.3	Technologie obrábění vodním paprskem.....	17
3.4	Elektroerozivní technologie obrábění	18
3.4.1	Řezání drátovou elektrodou	19
3.5	Technologie obrábění plazmou	19
3.6	Technologie obrábění elektronovým paprskem	20
3.7	Technologie obrábění LASEREM	21
3.7.1	Konstrukce laseru	22
3.7.2	Druhy laserů.....	24
3.7.3	Využití laserů v technologii.....	28
3.7.4	Popis jednotlivých operací:.....	29
4	Porovnání vybraných nekonvenčních metod obrábění.....	34
5	Charakteristika a konstrukce vybraného postupového nástroje.....	35
5.1	Konkrétní zadaná součást vyráběná lisovacím postupovým nástrojem.....	35
5.1.1	Charakteristika lisovaného dílce	35
5.2	Postup realizace výroby postupových nástrojů ve firmě Klein & Blažek	36
5.3	Základní popis funkce postupového lisovacího nástroje	39
5.3.1	Základními parametry postupových lisovacích nástrojů	41
5.3.2	Nezbytné technické vybavení pro provoz postupových nástrojů	42
5.4	Popis základních částí postupového lisovacího nástroje.....	43
6	Návrh vhodné technologie pro vybraný postupový nástroj	46
6.1	Strojní vybavení - Laser LC – 2415 Alpha III	46
6.2	Využití laseru při výrobě nástroje	47
6.2.1	Původní postup výroby kalených podložek	48
6.2.2	Výroba kalených podložek s využitím technologie řezání laserem.....	48
6.3	Využití laseru při prvních zkouškách a při doladování nástroje	49
6.3.1	Původní postup doladování nástroje	50
6.3.2	Postup doladování nástroje s využitím technologie řezání laserem.....	53
7	Diskuze experimentů	55
8	Technicko ekonomické zhodnocení.....	58

8.1	Ekonomické zhodnocení využití laseru při výrobě nástroje	58
8.1.1	Původní postup výroby kalených podložek	58
8.1.2	Výroba kalených podložek s využitím technologie řezání laserem.....	59
8.2	Ekonomické zhodnocení využití laseru při doladování nástroje	60
8.2.1	Původní postup doladování nástroje	60
8.2.2	Postup doladování nástroje s využitím technologie řezání laserem.....	61
8.3	Celkové vyhodnocení úspor vzniklých vhodným využitím řezání laserem.....	62
9	Závěr	63
10	Seznam použité literatury:	65
11	Seznam příloh	67

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

<u>ZKRATKA</u>	<u>VÝKLAD</u>	<u>JEDNOTKA</u>
Ra	Střední aritmetická drsnost povrchu	[μm]
SK	Slinutý karbid	
CNC	(Computer numerical control) systém s PC a programem	
RTG	Radioisotope thermoelectric generator	
E ₁	Energetická hladina	
E ₂	Energetická hladina	
TEM	Transverse electromagnetic mode	
λ	Vlnová délka	[μm]
TOO	Teplem ovlivněná oblast	
HRC	Stupeň tvrdosti podle Rockwella	

1 Úvod

Chceme – li, aby firma byla úspěšná a konkurence schopná, musí na trh dodávat výrobky, které jsou ostatním výrobkům konkurenčně alespoň vyrovnané. Tyto výrobky by měli být vyrobeny s co největší kvalitou a s ohledem na cenu tak, aby výrobní cena dokázala konkurovat cenám na trhu. Z tohoto důvodu všichni výrobci hledají možné způsoby, jak výrobu zlevnit. Výroba by měla ovšem být navržena a zlevněna tak, aby byla kvalita výrobku dodržena, popřípadě ještě zlepšena.

Tato diplomová práce je zpracována ve firmě Klein & Blažek spol. s r.o. závod Štíty pro její praktické využití, a to konkrétně na oddělení lisovny a nástrojárny, kde se lisují součástky především pro automobilový průmysl. Práce popisuje využití technologie řezání laserovým paprskem při výrobě lisovacích postupových nástrojů pro výrobu součástí, jejichž zákazníkem je firma Fuji Koyo. Je to jedna z možností jak snížit náklady při výrobě lisovacího postupového nástroje, který se ve firmě vyrábí. Vzhledem k důležitosti mechanické funkce lisovacího postupového nástroje, musí být tento nástroj vyroben v příslušných tolerancích tak, aby rozměry výrobku odpovídaly výkresové dokumentaci vyráběné součásti. Z tohoto důvodu vyplývají velké požadavky na tvarovou a rozměrovou přesnost opracování obráběných ploch tohoto nástroje. Hlavním cílem práce je vyčíslit finanční úspory vzniklé vhodným využitím již zmíněné technologie při výrobě postupových lisovacích nástrojů.

V úvodu práce je ve stručnosti zachycena historie firmy Klein & Blažek spol. s. r.o. závod Štíty, a také její současné výrobní zaměření. V práci jsou také zaznamenány některé důležité hospodářské výsledky této společnosti. V další části je uvedeno strojní vybavení a charakteristika některých technologií pro výrobu složitých součástí. Následuje popis stávajícího postupu výroby lisovacího postupového nástroje a následně popis nově navrženého postupu. V další kapitole jsou uvedeny a vyhodnoceny výsledky původního a nově navrženého postupu při výrobě lisovacího postupového nástroje. V konečné části práce zmiňuji technické a ekonomické vyhodnocení a v závěru je provedeno celkové zhodnocení diplomové práce.

2 Obecná charakteristika daného problému

2.1 Obecná charakteristika společnosti Klein & Blažek spol. s r.o.

Společnost Klein & Blažek spol. s r.o. sídlí na severní Moravě v malém městečku Štítý, poblíž hranic České republiky se sousedním Polskem. Tato společnost je již více než 30 let na trhu dodavatelem tvářených a obráběných dílů pro automobilový průmysl, zejména pro koncern Volkswagen a Škoda. Dále je firma dodavatelem kovových součástí a sestav, vyráběných zejména technologiemi tváření, obrábění, svařování, montáže a tepelného zpracování. Firma má svoji výrobu rozloženou na užité ploše 23 241 m² a zaměstnává přibližně 800 pracovníků z nejbližšího okolí. Společnost Klein & Blažek spol. s r.o. je ryze českou společností, která je členem sdružení automobilového průmyslu České republiky. [1] [2]

Historie společnosti začala roku 1958, kdy na základě rozhodnutí Krajského národního výboru, sídlícího v Olomouci, byl proveden převod výroby dětských hraček, domovních zvonků a lisování bakelitu, za účelem zprůmyslnění z Olomouce do Štítů. Dřívější společnost, která byla takto převedena, podnikala následně pod názvem JESAN a zaměstnávala 14 pracovníků.

V roce 1970 došlo k dokončení výstavby nových prostor, do kterých byla následně převedena část výroby pro automobilové závody ŠKODA Mladá Boleslav. Závody ŠKODA Mladá Boleslav se od těchto dob staly největším zákazníkem, a je tomu až do dnes. Jednalo se především o výrobu součástí ovládacího zařízení vozů. Stav pracovníků se následně prudce zvýšil na celkový počet 220.

V roce 1994 došlo k privatizaci, která byla po správním řízení uskutečněna a dne 1. března také realizována. Firma JESAN byla následně v červenci tohoto roku přejmenována na Klein & Blažek spol. s r.o. Výrobní program státního podniku JESAN, který vyráběl díly pro automobilku ŠKODA Mladá Boleslav a tradiční výrobky drobných elektrotechnických výrobků (gongů, zvonků, transformátorků a jiných výrobků) se stal základem i pro společnost Klein & Blažek spol. s r.o. V této době zaměstnávala firma okolo 200 pracovníků a její roční obrát činil asi 125 milionů korun.

Od roku 1994 se společnost Klein & Blažek spol. s r.o. vyprofilovala jako osvědčený a především spolehlivý dodavatel většinou jednotlivých kovových, lisovaných a obráběných, technicky náročných dílů, s vysokou sériovostí pro zákazníky z automobilového průmyslu. Společnost, která má více než třicetiletou tradici dodávek

výrobků do automobilového průmyslu, zavedené systémy jakosti a certifikace podle všech potřebných standardů, je v dnešní době často vyhledávána jak tradičními zákazníky, tak i novými potenciálními zákazníky z různých oborů. Firma se v dnešní době specializuje na tyto typické výrobky: [1] [2]

2.2 Typické výrobky společnosti:

- Výlisky z postupových nástrojů na lisech do 630 t
- Lišty a rámy dveří z válcovaných profilů
- Obráběné díly do motoru a převodovky (řemenice, řetězová kola, rozvodové soukolí, opracování výfukového potrubí)
- Obráběné hliníkové díly pro klimatizaci
- Svařované díly (držáky výfuku, tažná oka, díly karoserie, výlisky s navařenými a nalisovanými maticemi a šrouby)
- Tepelné zpracování kovů
- Montáž podsestav
- Drobné elektrické výrobky (zvonky, gongy, bzučáky, transformátorky)

Společnost Klein & Blažek spol. s r.o. nabízí svým zákazníkům a partnerům kvalifikovanou spolupráci při vývoji procesu, plánování jakosti, výrobě a povýrobním servisu kovových dílů. Kovové díly jsou zpracovávány technologiemi tváření, obrábění, svařování, tepelného zpracování, válcování profilů, montáže a drobných elektrických výrobků. [1]

2.3 Popis současné výroby a strojního vybavení

Firma Klein & Blažek spol. s.r.o. je po roce 1994 společností, která je v soukromém vlastnictví. V tomto roce došlo také k jakému si rozdělení podniku na dva samostatné závody, které sídlí ve vlastním komplexu budov. První závod je převážně zaměřen na výrobu lisovaných dílů a sídlí v něm také oddělení nástrojárny. Druhý závod, který je od prvního závodu vzdálen přibližně 500m, je zaměřen na výrobu obráběných dílů a z pohledu historie je o něco mladší.



Obr. 1 Výrobní závod 1 – lisovna a nástrojárna



Obr. 2 Výrobní závod 2 – obrobna

Závod 1, který je zaměřen na již zmíněnou výrobu lisovaných dílů (obr. 1) je vybaven výstředníkovými, postupovými, hydraulickými, klikovými a dvoubodovými lisami s tonáží od 10 t, i nejnovějším postupovým lisem KAISER 6300 s možností využití transferu a tonáží 630 t. [1] [2]

Strojní park lisovny je tvořen:

- Lis výstředníkový – LEN 10C
- Lis výstředníkový – LEN 25C
- Lis výstředníkový – LENP 40A
- Lis výstředníkový – LEN 63C
- Lis výstředníkový – LENP 63A
- Lis výstředníkový – LEPA 63P-A
- Lis výstředníkový – LEU 100
- Lis výstředníkový – LEU 100A
- Lis výstředníkový – LEXN 100C
- Lis výstředníkový – LE 160/35,5
- Lis výstředníkový – LEK 160
- Lis výstředníkový – LE 250A
- Lis hydraulický – HP 250
- Lis klikový tažný – LKT 250/120
- Lis klikový tažný – LKT 250
- Lis klikový tažný – LKT 250A
- Lis postupový – KAISER 2000
- Lis postupový – KAISER 2500
- Lis postupový – KAISER 4000
- Lis transferový PAUST 63/01
- Lis dvoubodový – LDC 250
- Lis post. + transf. – KAISER 6300

Závod lisovny je především zaměřen na výrobu součástí pro automobilový průmysl. Největším odběratelem v oblasti lisovaných dílů je již zmíněna automobilka ŠKODA Mladá Boleslav, která se tak stala od výroby modelu Škoda Felicie. Dalšími odběrateli v oblasti lisovaných dílů jsou také firmy TOKAI RIKA, BENTELER, VISTEON, DELPHI, PUNCH, DURA, FUJI KOYO a další. Jednotlivé díly dodávané těmito firmám jsou následně montovány do vozů AUDI, FORD, WOLKSVAGEN, BMW, PEUGEOT, TOYOTA, CITROEN, SEAT a další. [1] [2]



Obr. 3 Strojní vybavení lisovny



Obr. 4 Příklady lisovaných dílů

Závod 2 (obr. 2), ve kterém je umístěna obrobna má dvě rozdělené pracoviště. První pracoviště je zaměřeno na obrábění rotačních součástí do průměru 65 mm, trubek, odlitků a výkovků všech jakostí materiálů a druhé pracoviště je určeno k frézování profilů, výkovků a odlitků.

Strojní park obrobny je tvořen:

Soustružení:

- univerzální soustruhy
 - ZPS S42 CNC
 - ZPS S50 CNC
 - ZPS S50/60 CNC
 - HAAS SL-20
 - HAAS TL-15
- soustružnické automaty
 - Index ABC
 - Index C65
 - Nakamura WT100
 - Nakamura WT150
- dlouhotočné automaty
 - Tornos Deco 13
 - Tornos Deco 20
- vícevřetenové automaty
 - Tornos MultiDeco 20/6
 - Tornos MultiDeco 26/6
- vertikální soustruhy
 - Index V200
 - Famar Pronto 6

Frézování:

- vertikální obráběcí centra
 - MCFV 125 EZ-P
 - DMC 65 V
 - DMP 60 V linear
 - Chiron DZ 15 W

Největším odběratelem rotačních dílů je firma HILTY, která se zabývá výrobou profesionálního ručního nářadí. Naopak co se týče frézovaných dílů, je největším odběratelem společnost VISTEON, které se obrábí celá škála součástí do rozvodů klimatizace v automobilech. [1] [2]



Obr. 5 Strojní vybavení Obrobny



Obr. 6 Příklady obráběných dílů

3 Technologie výroby složitých součástí

Složitě součásti lze z technologického hlediska velmi efektivně a hospodárně obrábět nekonvenčními metodami.

Pod pojem nekonvenční metody obrábění můžeme zahrnovat ty způsoby obrábění, které na rozdíl od klasických technologií třískového obrábění v převážné míře nevyužívají mechanické práce pro úběr materiálu. Tyto metody jsou založeny na využití některého fyzikálního nebo fyzikálně – chemického principu k úběru materiálu, nebo jsou založeny na netradičním zdroji pohybu mechanických metod. V některých případech jsou tyto metody jediným způsobem, jak součást vyrobit. Popisované nekonvenční metody v této práci lze rozřadit podle převládajících účinků oddělování materiálu, a to na oddělování materiálu mechanickým účinkem (obrábění ultrazvukem, obrábění proudem abraziva, obrábění vodním paprskem) a tepelným účinkem (elektroerozivní obrábění, obrábění plazmou, obrábění elektronovým paprskem, obrábění laserem). [3] [4] [7]

3.1 Technologie obrábění ultrazvukem

Podstatou metody je řízené rozrušování materiálu účinkem úderů abrazivních zrn (elektrokorund, karbid boru, karbid křemíku). Tato abrazivní zrna jsou přiváděna v kapalině (voda, lín, petrolej apod.) mezi kmitající nástroj a obrobek. Úběr materiálu je vyvolán důsledkem mechanického účinku abraziva a kavitačního účinku. Velká kinetická energie zrn abraziva způsobuje narušování celistvosti obráběné plochy a kavitační účinky umožňují rychlou výměnu opotřebovaných zrn za nové. Zařízení se skládá z ultrazvukového generátoru, který je zdrojem střídavého proudu, tzn. periodických kmitů o frekvenci 20 až 30 kHz a amplitudě 10 až 100 μm . Rychlost posuvu nástroje je 20 až 50 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Zrnitost použitého brusiva je 0,03 až 0,05 pro hrubování a 0,009 až 0,014 pro dokončování. Tyto technologie lze použít zejména pro řezání, hloubení průchozích děr, hloubení dutin, broušení rovinných ploch, soustružení, frézování, řezání závitů a další. Rozměrová přesnost při obrábění průchozích děr do hloubky 3 mm je 0,02 až 0,05 mm na průměr. Obráběné plochy do 40 až 50 mm^2 lze vyhotovit s přesností 0,02 až 0,05 mm a neprůchozí dutiny s přesností 0,05 až 0,1 mm. Při obrábění jemným brusivem lze dosáhnout $R_a = 0,4$ až 1,6 μm . Drsnost obrobeného povrchu je nejvíce ovlivněna velikostí abrazivních zrn, velikostí amplitudy a vlastnostmi obráběného materiálu. [4] [6] [8]

3.2 Technologie obrábění proudem abraziva

Tato metoda využívá k odstraňování materiálu abrazivního účinku brusiva unášeného stlačeným plynem o vysoké rychlosti. Základem zařízení je vysokotlaký kompresor s rozvodem tlakového vzduchu (5 až 8 MPa) a soustavou trysek s přísáváním abraziva do pracovního média. Jako abrazivo se nejčastěji používá oxid hliníku, karbid křemíku, uhličitan hořečnatý, hydrouhličitan sodný, skleněné kuličky, dřevěné sklo a jiné. Velikost abrazivních částic je 10 až 60 μm (optimální 15 až 20 μm). Jako přenosové médium se používá (vzduch, CO_2 , N_2), jehož hlavním úkolem je přenos rychlosti na abrazivo. Rychlost média je 150 až 300 m.s^{-1} . Rychlost obrábění (posuvu) nepřesahuje hodnotu 2 mm.s^{-1} a hmotnostní úběry se pohybují okolo 10 mg.min^{-1} . Doporučená vzdálenost pracovní trysky od povrchu obrobku je 10 mm při výstupním průměru trysky 3,5 mm. Rychlost posuvu trysky, která může být vyrobena z wolframu, karbidu nebo safíru je 1,8 až 12 mm.min^{-1} . Touto technologií lze dosáhnout rozměrové přesnosti 0,05 až 0,13 mm a drsnosti povrchu $R_a = 0,15$ až 1,5 μm . Technologické aplikace této metody jsou řezání, zpevňování povrchů, čištění, odjehlování, pískování, opracování těžkoobrobitelných a křehkých materiálů, výroba drážek a jiné další. Výhodami této technologie je, že se obrobek neohřívá, lze obrábět tvrdé materiály a přenosové médium je levné. Naopak nevýhody této technologie spočívají v nízké rychlosti obrábění a velkém rozptylu paprsku okolo 60°. [3] [4]

3.3 Technologie obrábění vodním paprskem

Obrábění vodním paprskem se někdy označuje jako obrábění hydrodynamické. Řezným nástrojem je paprsek vody o vysokém tlaku a rychlosti, který se především využívá pro řezání různých materiálů. Technologie řezání vodním paprskem se využívá v průmyslu chemickém, potravinářském, elektronickém, elektrotechnickém, strojírenském, stavebním, gumárenském, obuvnickém, sklenářském a jiné. V praxi se nejčastěji využívá řezání čistým vodním paprskem a řezání vodním paprskem s abrazivní směsí. Základní částí řezacího stroje je vysokotlaké čerpadlo, které umožňuje vytvořit pracovní tlak 60 až 400 MPa při dodávaném množství 2 - 4,5 l.min^{-1} . Výstupní rychlost vodního paprsku je 600 až 900 m.s^{-1} . Trysky se vyrábějí z SK nebo safíru a jejich průměr je od 0,075 mm do 2 mm. Jako abrazivní materiál se používá SiC (karbid křemíku), Al_2O_3 (elektrokorund), diamantový prach, mletý granát, smírek, ocelová drť nebo broky. Mezi výhody této technologie patří: vysoká energetická účinnost (až 80%), studený řez, bezprašný proces, vysoká životnost trysek, malé ztráty

materiálu, spolehlivost, jednoduchost obsluhy, možnost řezání vlnitých materiálů, vysoká flexibilita, obrobky není třeba upínat, možnost CNC řízení, šetrnost k životnímu prostředí, možnost řezání pod hladinou, v obrobené ploše nejsou zbytková pnutí, přesné čištění a leštění povrchu těžkoobrobitelných materiálů. Naopak nevýhody vodního paprsku jsou: řezaný materiál musí snášet přímý kontakt s vodou, zaoblení vnitřních rohů je dáno průměrem trysky, nelze řezat kalené sklo a hrnčířskou hlinu v nepracovaném stavu aj. [3] [4] [9]

3.4 Elektroerozivní technologie obrábění

Elektroerozivní obrábění zahrnuje řadu metod, které mají jeden společný znak. Tímto znakem je, že úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými, popřípadě obloukovými výboji. Elektroerozivní obrábění je elektrotepelný proces, u kterého se dosahuje úběr materiálu elektrickými výboji mezi katodou (nejčastěji nástrojová elektroda) a anodou (nejčastěji obrobek) ponořenými do tekutého dielektrika. Dielektrikum je většinou kapalina s vysokým elektrickým odporem (petrolej, lehké strojní nebo transformátorové oleje, deionizovaná a destilovaná voda nebo vodní sklo). Vlivem vysoké koncentrace energie (10^5 až 10^7 W.mm⁻²) materiál taje a následně se odpařuje. Výboj mezi elektrodami vzniká v místě nejsilnějšího elektrického napětového pole, které vytváří vodivý kanál umožňující přechod jiskry mezi obrobkem a nástrojem. Nástrojové elektrody jsou zhotoveny buď z grafitu, mědi, mosazi, wolframu, nebo kombinací měď – wolfram, stříbro - wolfram. Každá jiskra produkuje teplo dostatečné k roztavení malého množství materiálu. Celkový proces se pak skládá ze střídajících se impulzních výbojů, které jsou statisticky rozloženy po celé ploše. Napětové impulsy se pohybují od 10 až do 300 V. Měrná spotřeba energie 0,1 až 1 kWh cm⁻³ a frekvence 0,2 až 500 kHz. Tuto metodu lze využít při výrobě tvarově složitých vnějších a vnitřních ploch, výrobě střížných a lisovacích nástrojů, výrobě šablon, dělení velmi pevných a tvrdých materiálů (SK, kalených ocelí, titanových slitin atd.). Mezi výhody této technologie patří: možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti, velký rozsah pracovních parametrů, výroba složitých tvarů, na součást nepůsobí žádné mechanické záření apod. Naopak nevýhodou je: nepřímá úměra mezi produktivitou a jakostí povrchu obrobené plochy, nízká produktivita, nutnost ponoření obrobku do kapaliny při obrábění apod. [4] [6] [7] [9]

3.4.1 Řezání drátovou elektrodou

Tato metoda umožňuje vyrábět tvarové a přímkové plochy. Tvořící čarou těchto ploch je přímka. Stroj pro elektroerozivní řezání drátovou elektrodou se sestává z těchto hlavních skupin: CNC řídicí systém, generátor pulsů, systém dodávání a filtrace dielektrika, systém podávání a vedení drátové elektrody, drátová elektroda a upínač obrobků.

Nástrojová elektroda je tvořena tenkým drátem, který se pomocí speciálního zařízení odvíjí, aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení. Drát je většinou vyroben z mědi, na větší průměry z mosazi a na velmi jemné řezy z molybdenu o průměru 0,03 až 0,07 mm. Mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem vznikají elektrické výboje. Pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou se vytváří samočinně úběrem materiálu obrobku před elektrodou. Nástrojová elektroda, která je tvořena drátem je nástroj, který může odebírat materiál v každém směru, což umožňuje ve spojení se šesti osami souřadnic řízenými CNC řídicím systémem obrábět přesně i velmi složité tvary. Způsob zapojení nástrojové elektrody a obrobku do elektrického obvodu je dán polaritou a typem výbojů. U moderních strojů s tranzistorovými generátory pulzů se používá tzv. přímá polarita, což je nástrojová elektroda jako katoda a obrobek je jako anoda.

Maximální úběr materiálu při využití této technologie dosahuje hodnot 35 až 200 mm². min⁻¹. Rovnoběžnost řezu do 2 μm na 100 mm tloušťky materiálu. Přesnost rozměrů a tvaru obrobeného povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje. Při kolísání teploty od -3 do 3 °C je přesnost od -3 do 3 μm. Při kolísání teploty od -1 do 1 °C je přesnost od -1 do 1 μm. Maximální tloušťka řezaného materiálu je 350 mm a obrobený povrch při použití této technologie dosahuje jakosti R_a= 0,15 až 0,3 μm. [6] [9]

3.5 Technologie obrábění plazmou

Princip spočívá v tavení řezného materiálu extrémně vysokou teplotou (více než 10 000 °C), která se vytváří rozpadem molekul plynu za vysokého vývinu tepla při průchodu elektrickým obloukem. Elektrický oblouk hoří mezi netavící se elektrodou (katodou -) a řezaným materiálem (anodou +). Obráběný materiál je postupně odtavován, odpařován a následně rozprašován paprskem plazmy, který vychází z plazmového hořáku vysokou rychlostí. Plazma je směs volných elektronů, pozitivně nabitých iontů a neutrálních atomů. Plazma má velmi vysokou teplotu 10 000 až 30 000 °C. Jako pracovní plyn se používá vzduch, argon, vodík, dusík a jejich směsi. Tato metoda se využívá pro řezání různých materiálů včetně těžkoobrobitelných ocelí

(přes 100 mm), svařování, navařování, nanášení povlaků, obrábění těžkoobrobitelných materiálů, tavení materiálu v peci a jiné. Při řezání plazmou je hloubka tepelně ovlivněné vrstvy 0,25 až 1,25 mm. Šířka řezné mezery může dosahovat 7 mm nahoře a 4,5 mm dole. Rychlost posuvu při řezání plazmou je 50 až 6 000 mm.min⁻¹. Vzhledem k vysokým rychlostem obrábění je obráběný povrch poměrně jemný a rozměrová přesnost odpovídá hrubovacím operacím. Výhodou této technologie obrábění je lepší kvalita řezu při řezání materiálu větší tloušťky a kratší časy řezání ve srovnání s řezáním plamenem. Nevýhodou plazmy je vznik velkého množství emisí, nemožné reliéfní obrábění, horší kvalita řezu ve srovnání s laserem, vyšší náklady ve srovnání s řezáním plamenem, silný odklon řezu, pouze pro dělení železných a neželezných kovů a další. [3] [4] [7] [9]

3.6 Technologie obrábění elektronovým paprskem

Podstatou této technologie je využití kinetické energie paprsků elektronů soustředěných na velmi malou plochu obrobku, která se zde přeměňuje na energii tepelnou (5 000° až 6 000°), kterou se obráběný materiál obrobku taví a vypařuje se. Elektrony vysílá katoda z tantalového nebo wolframového drátu ve tvaru vlásenky rozžhavená na 2 500°C. Přes usměrňovací zaostřovací anodu je veden svazek elektronů a je urychlován až na polovinu rychlosti světla velkým potenciálním rozdílem mezi katodou a anodou. Urychlovací napětí je 40 až 150 kW. Plošná hustota energie činí 10⁸ W.cm⁻² a hustota energie paprsku je 1,55MW.mm⁻². Paprskem elektronů lze vrtat otvory od 0,01 až 0,8 mm, a při řízeném pohybu obrobku lze řezat libovolné tvary, drážkovat a svařovat kovy, které se rychle okysličují, např. titan nebo kovy těžce tavitelné, např. molybden, wolfram a další. K výhodám této technologie patří možnost obrábět libovolný materiál bez ohledu na jeho fyzikální vlastnosti. Tepelně ovlivněná oblast je minimální z čehož vyplývá, že nastává minimální deformace a při svařování hluboký závar. Metoda má velmi vysokou účinnost (přes 95 %) s možností automatizace procesu. Čím většího vakua dosáhneme, tím například u svařování dosáhneme hlubšího závaru. Naopak nevýhodou celého zařízení je, že musí být umístěno ve vakuové komoře z korozi-vzdorné oceli, která má velmi omezené rozměrové možnosti a má vysokou pořizovací cenu. Mezi další nevýhody patří vznik škodlivého RTG záření a vznik problémů při opracování elektricky nevodivých materiálů (izolantů) a diamantu. [4] [8]

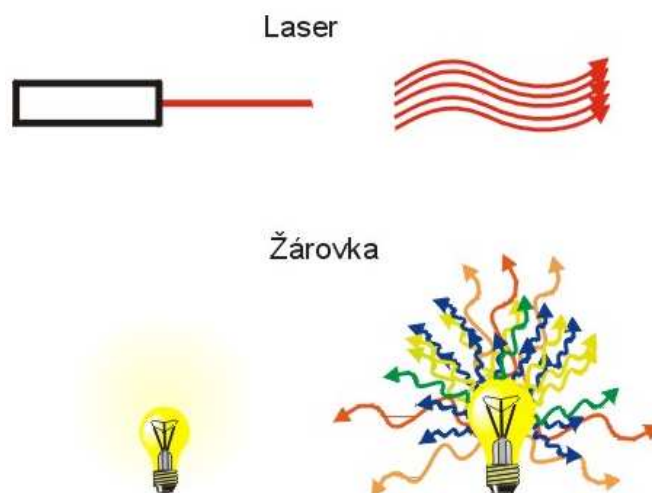
3.7 Technologie obrábění LASEREM

Obrábění laserem (LASER - Liht Amplification by Stimulated Emission of Radiation) patří mezi nejmodernější metody opracování materiálu. Obrábění a opracování materiálu laserem je založeno na přeměně světelné energie na energii tepelnou. Děje se tak při styku paprsku laseru s obráběným materiálem, kdy se materiál obrobku vlivem vysoké teploty ohřívá, taje a odpařuje se. [3] [6]

Paprsek je možno opticky soustředit na velmi malou plochu a tím získat prakticky nejvyšší hustotu výkonu za všech zářivých energetických zdrojů. Běžné světelné záření je vlnění, které se šíří všemi směry a zesílením je vytvořen úzký svazek fotonů. Laserové světlo vzniká v prostředí stimulujícího elektromagnetického záření potlačením spontánní emise na úkor emise stimulované. Spontánní (samovolná) emise záření vzniká, pokud vybuzené atomy s energetickou hladinou E_2 mají tendenci zaujmout hladinu s nižší energií E_1 a přitom emitují kvantum světelného záření. [4] [5] [6]

Vlastnosti světelného paprsku:

- je vysoce monochromatický – světlo v laserovém paprsku má prakticky jen jednu vlnovou délku
- má vysoký stupeň prostorové a časové koherence
- má minimální divergenci (rozbíhavost)
- má vysokou výstupní intenzitu [$\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$]
- má modální strukturu (TEM – transverse electromagnetic mode), v příčném průřezu paprsek vytváří buď jednoduchou stopu nebo složitější obrazce pravoúhlé, nebo kruhově symetrické. [4] [5]

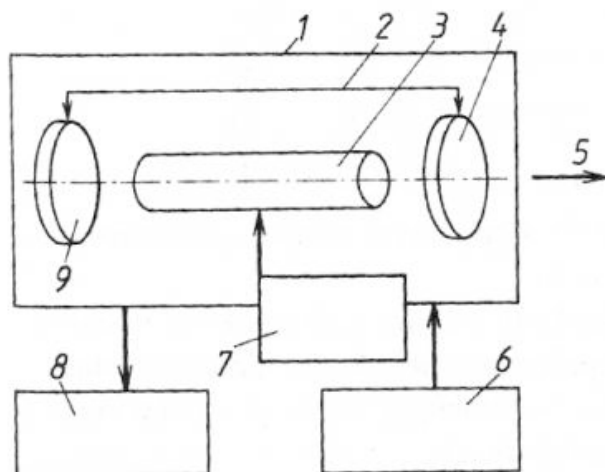


Obr. 7 Srovnání záření žárovky a laseru [12]

3.7.1 Konstrukce laseru

Umístění ohniska je parametr, který musí být za účelem zajištění optimálního řezného výkonu regulován, jelikož:

- Rozdílnost materiálu a tloušťky mohou vyžadovat změnu ohniskové vzdálenosti
- Rozdílnost ve tvaru laserového paprsku, modu a změny teploty chladicí vody nebo čočky mohou změnit umístění ohniska. [4]



Obr. 8 Schéma laseru [10]

1 - laserová hlavice	2 - rezonátor	3 - laserové médium
4 - polopropustné zrcadlo	5 - výstupní zařízení	6 - zdroj energie buzení
7 - budicí zařízení	8 - chladicí systém	9 - nepropustné zrcadlo

Hlavní části laseru můžeme vidět na obrázku (viz obr. 8)

- Laserová hlavice, která obsahuje:
 - Laserové médium - určuje délku vlny záření, je směsí několika materiálů s vhodnými energetickými hladinami ve vhodném nosném materiálu, který je průhledný a má schopnost odvádět vzniklé teplo. Toto médium může být pevné, tekuté, plynné, případně to mohou být páry. (viz tab. 1)

Stav média	Druh	Aktivní materiál	Nosný materiál
Pevný	Nd: YAG	Nd	YAG
	Nd: sklo	Nd	sklo
Tekutý	barva	Rh	alkohol
Plynný	CO ₂	CO ₂	N ₂ , He
	HeNe	Ne	He
	Argon	Ar ⁺	Ar
Páry	HeCd	Cd	He

Tab. 1 Druhy laserových médií

- Rezonátor - Optický systém, který umožňuje zformovat a zesílit záření. Konstrukční uspořádání rezonátoru určuje vlastnosti paprsku (koherenci, intenzitu záření, jeho pravidelnost, spektrální a prostorové charakteristiky).
- Budicí zařízení - Ovlivňuje pracovní režim laseru, způsob buzení je dán laserovým médiem. Plynné médium je buzeno téměř vždy elektrickým výbojem, stejnosměrným nebo střídavým proudem (obdobně jako u zářivek). Používá se také buzení chemickou reakcí, fotodisociací, rychlou expanzí plynu nebo opticky. Pevné laserové médium je buzeno nejčastěji lampami – výbojkami.
- Zdroj energie buzení - jedná se o speciální druh síťového napáječe.
- Chladicí zařízení - Odvádí nevyužitou energii, která se nepřemění v záření, ale v tepelnou energii. Nejčastěji se používá chlazení vodou. Chladicí okruh má dvě větve: vnitřní (používá se deionizovaná voda) a vnější (voda z vodovodní sítě nebo ze speciálního zásobníku s čerpadlem). [6]

3.7.2 Druhy laserů

Podle laserového média nejčastěji rozdělujeme lasery na:

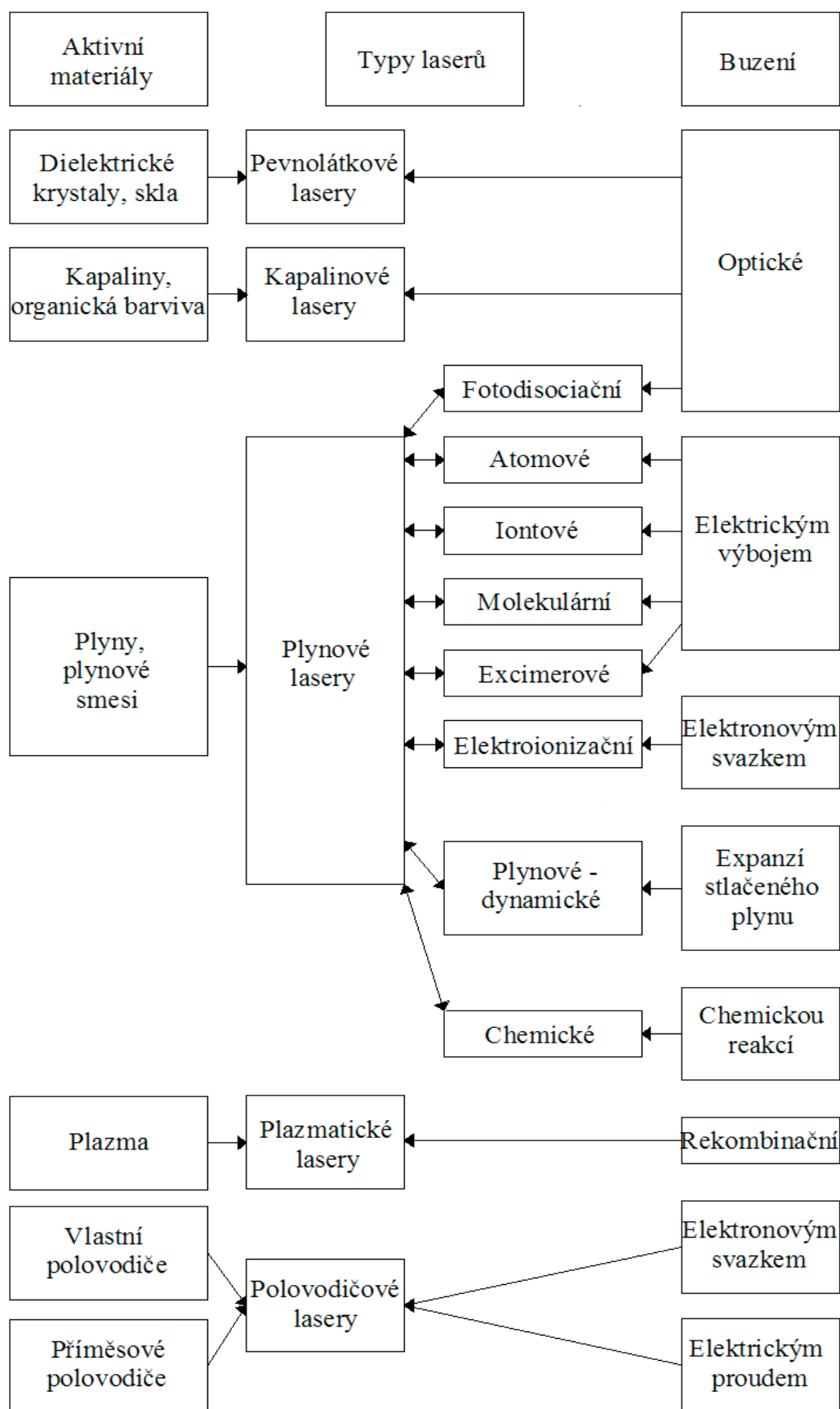
- **Pevnolátkové lasery** – laserovým médiem je krystal, který je vybroušený do tvaru válce, hranolu nebo kotouče, jehož čela jsou opticky vyleštěna. Krystal je vyhotoven z rubínu, yttrium – aluminium – granátu dopovaného neodymem (Nd:YAG), lithium – yttrium – fluoridu dopovaného neodymem (Nd:YLF), yttrium – aluminium – granátu dopovaného erbiem (Er:YAG), skla a další. Koherentní paprsek pevnolátkových laserů má vlnovou délku $\lambda=1,06 \mu\text{m}$, maximální výstupní výkon 4 kW a může pracovat jak v kontinuálním, tak i v pulzním režimu. Účinnost těchto laserů je 3 – 8 %.
- **Plynové lasery** – laserovým médiem je směs plynů. Z laserů technologických mají největší význam CO₂ lasery. U těchto laserů je laserové médium tvořeno směsí kyslíčnicku uhličitého (CO₂), helia (He) a dusíku (N₂). Koherentní paprsek plynových laserů má vlnovou délku $\lambda=10,6 \mu\text{m}$, maximální výstupní výkon 25 kW a může pracovat jak v kontinuálním, tak i v pulzním režimu. Účinnost těchto laserů je 10 – 15%. Plynové lasery mají řadu dalších druhů. S těmito lasery se můžeme setkat například v měřicích laboratořích. [6]
 - **Helium – neonový laser** – U tohoto druhu je laserovým médiem směs hélia a neonu. Buzení je realizováno elektrickým výbojem a laser může generovat záření s různou vlnovou délkou. Výstupní výkon pro červené světlo je několik miliwattů, pro infračervené světlo je o řád vyšší.
 - **Měděný laser** – laserovým médiem jsou páry mědi. Buzení laseru je realizováno elektrickým výbojem a generuje záření 510,5 a 578,2 nm. Pracuje v pulzním režimu a má výstupní výkon 40 W.
 - **Argonový laser** – laserovým médiem jsou ionty kovu. Buzení těchto laserů je realizováno elektrickým výbojem a generuje záření o vlnové délce 457,9; 465,7; 472,7; 488; 496,5 a 514,5 nm.
 - **Helium – kadmiový laser** - laserovým médiem jsou ionty kovu. Buzení těchto laserů je realizováno elektrickým výbojem a generuje záření o vlnové délce 533,7; 537,8 a 441,6 nm.
 - **Excimerový laser** – U tohoto druhu laseru je laserové médium tvořeno excimery (nestabilními molekulami), které vznikají na přechodnou dobu v důsledku vzájemného působení vybuzeného atomu s atomem

v základním stavu. Excimerové lasery dosud známé pracují se vzácnými plyny (argon, krypton, xenon a jiné). Buzení laseru je realizováno elektrickým výbojem nebo svazkem rychlých elektronů. Při buzení elektrickým výbojem je účinnost laseru cca 1 % a výstupní energie 1 J. Lasery buzené svazkem rychlých elektronů mají účinnost až 10 % a výstupní energii 1kJ.

- ***Polovodičové lasery*** – Tyto lasery pracují na funkci, která je založena na vzniku stimulované emise záření v aktivním polovodičovém materiálu a tvoří laserové médium. U polovodičových laserů na rozdíl od ostatních druhů laserů se přechod elektronů děje mezi dovolenými energetickými pásy a ne mezi energetickými hladinami. Laserovým médiem je galium arsenid (GaAs), kadmium sulfid (CdS) a kadmium selen (CdSe). Buzení těchto laserů je realizováno fotony, svazkem elektronů nebo elektrickým polem. Polovodičové lasery generují záření o vlnové délce $\lambda=0,3 - 30 \mu\text{m}$. Pracují s účinností až 50 % a výstupní výkon lze dosáhnout hodnot až 2 kW. Hlavní předností polovodičových laserů jsou malé rozměry, vysoká účinnost a hlavně kompaktnost.
 - ***Kapalinové lasery*** – laserovým médiem jsou roztoky organických barviv nebo speciálně připravené kapaliny, které jsou dopované ionty vzácných zemin. Buzení je realizováno Nd:YAG laserem nebo laserem argonovým. Výběrem vhodných zrcadel a barviva rezonátoru je možné získat koherentní záření o jakékoli vlnové délce v rozsahu od 0,3 do 1,3 μm . Využití kapalinových laserů je především ve spektroskopii, jelikož umožňují naladění přesné vlnové délky.
- [6]

Druh laseru	Aktivní látka		Vlnová délka [μm]	Typ paprsku	Výkon laseru	Oblast použití
Pevný	Rubín	Cr^{3+}	0,6943	pulzní	5 W	Holografie
	Nd - YAG	Nd^{3+}	1,064	kontinuální pulzní	100 - 1200 W	Strojírenský průmysl
	Nd - sklo	Nd^{3+}	1,064	pulzní	2 mW	
	alexandrit		0,7 - 0,818	pulzní	10 W	
Polovodičový	GaAs		0,80 - 0,90	pulzní	2 - 10 mW	Informační technologie, optoelektrika
Plynový	CO_2 ($\text{N}_2 + \text{He}$)	CO_2	10,6	kontinuální nebo pulzní	500 - 15000 W	Strojírenský průmysl
	He - Ne	Ne	0,6328; 1,15; 3,39	kontinuální	20 mW	Metrologie Geodézie Holografie
	Ar	Ar^+	0,4764; 0,488; 0,5145	kontinuální nebo pulzní	1 - 5000 W	Laserová chirurgie
	Excimer (ArCl) (XeCl) (XeF) (KrF)		0,17 0,308 0,351 0,248	pulzní	20 - 250 W	Fotolitografie Laserová chirurgie Strojírenství
Kapalinový	Farbivo Rhodamine 6	Etanol, metanol	0,34 - 1,175	pulzní	100 W	Fotochemie Spektroskopie

Tab. 2 Rozdělení laserů [4]



Tab. 3 Přehled typů laserů z hlediska aktivního materiálu a buzení [6]

3.7.3 Využití laserů v technologii

Schopnost materiálu být dobře či špatně obráběn laserem (obrobitelnost materiálu) je dána zejména těmito vlastnostmi:

- **Absorpcí** – schopnost materiálu pohlcovat světelnou energii a měnit ji na kinetickou energii neuspořádaného pohybu molekul nebo atomů absorbující látky na tak zvanou energii tepelnou.
- **Tepelnou vodivostí** – je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti.
- **Odrazivostí (reflexí)** – je dána poměrem množství odražené energie k energii dopadající.
- **Tavením povrchové vrstvy**
- **Odpařováním**

Obrobitelnost materiálu laserem je tím lepší, čím je větší absorpce materiálu, menší jeho tepelná vodivost a menší odrazivost povrchu obráběného materiálu.

V technologii se laser používá pro tyto operace:

- Popisování součástí
- Řezání a vyřezávání
- Svařování a pájení
- Tepelné zpracování
- Nanášení povlaků a dokončování povrchů
- Vrtání
- Soustružení, frézování, gravírování a mikroobrábění
- Čištění a odstraňování povrchové vrstvy
- Tváření

Měření, kosmetice, lékařství, astronomii a jiné další... [4] [5] [6]

3.7.4 Popis jednotlivých operací:

- **Popisování součástí** – Pro popisování součástí existují dvě základní metody využívající laser pro vytváření znaků a popisů:
 - **Popisování přes masku**
 - **Popisování vychylováním paprsku laseru**

Popisováním laserem přes masku je celý text popisku vyříznut v masce. Maska je zhotovena z mosazi, bronzu nebo z ušlechtilé oceli. Paprsek laseru osvítí najednou nebo po řádcích masku, a tím se popis přenese na popisovanou součást. Pro tuto technologii se používají CO₂ lasery, Nd:YAG lasery a lasery excimerové. Výhody této metody jsou především v jednoduchém popisovacím systému, relativně nízké pořizovací ceně a ve vysoké rychlosti popisování. Naopak hlavními nevýhodami je malé popisovací pole, poměrně horší kvalita.

Popisováním vychylováním paprsku laseru je paprsek vychylován dvěma vzájemně kolmými zrcadly, jejichž pohyb je řízen počítačem. Pro tuto technologii se používají CO₂ lasery o výstupním výkonu 8 až 20 W nebo Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 10 až 60 W. Při použití této metody se dosahuje vysoká kvalita popisu s ohledem na jeho dokonalou čitelnost a kontrast. Velkou výhodou je zde vysoká operativnost a rychlost změny psaného textu, jelikož se provede pouze změna v řídicím systému pomocí klávesnice počítače.

Pomocí laserové technologie je možno popisovat všechny materiály, jako kalené i nekalené ocele a litiny, titan, bronz, mosaz, hliník a jeho slitiny, slinutý karbid, zlato, keramiku, plasty, drahé kameny, dřevo, sklo, papír, gumu, kůži a jiné další...

Popisovaný povrch může být pískovaný, broušený, lakovaný, černěný, smaltovaný, opatřen povlakem zinku, chromu, titankarbidu apod. Lze popisovat rovinné, válcové, zakřivené plochy a to i na málo přístupných místech. [4] [6]

- **Svařování a pájení** – Svařování materiálů laserem může být:
 - **Vedením tepla** – vzniklá tepelná energie se v materiálu šíří vedením, sváry jsou ploché a široké.
 - **Hlubkové** – při překročení určité intenzity přívodu tepla pronikne paprsek hluboko do materiálu, který se roztaví a z části odpaří. Sváry při použití této metody jsou úzké a hluboké.

Při výstupním výkonu laseru 5 kW jsou dosažitelné hloubky svaru 6 až 7 mm, při výkonu 10 kW to je 15 až 20 mm. Při svařování laserem se ve většině případů nepoužívá žádný přídavný materiál. Lze svařovat všechny materiály svařitelné konvenčními metodami včetně niobu, titanu, hliníku, zlata a jiné. Výhodou svařování laserem je menší tepelné ovlivnění okolí svaru. Svařování lze provádět CO₂ lasery i Nd:YAG lasery.

Pájení se provádí tak, že paprsek vycházející z laseru taví pájecí pastu nanesenou předem do místa spoje. Pro pájení se používají lasery o menším výkonu. [4] [6]

- **Tepelné zpracování** – tepelné zpracování materiálů laserem je charakterizováno krátkou dobou ohřevu, malým objemem ohřátého materiálu a při kalení není nutno kalenou součást chladit. Pracovní podmínky se regulují změnou parametrů záření laseru a rychlostí pohybu svařovaných součástí. [6]
- **Nanášení povlaků a dokončování povrchů** – Nanášený materiál (kovy, keramika apod.) je přiváděn do paprsku laseru ve formě prášku nebo drátu. Dále se zde taví a nanese na povrch součásti, kde ztuhne. Vznikají pásy naneseného materiálu, které se vzájemně překrývají. Povlak může být také vytvořen reakcí nataveného materiálu s plynem přiváděným do místa ohřevu, nebo může být na povrch obrobku předem nanesen vhodný materiál a následně paprskem roztaven. Tloušťka naneseného povlaku může být až 1 mm. Povlak má dobrou přilnavost k povrchu obrobku a nemá žádné trhliny. Povlakovat lze různé materiály a velmi složité tvarové součásti. Používají se CO₂ lasery o výkonu 5 kW, kde rychlost nanášení je 20 až 100 cm² za minutu. [6]

- **Vrtání** - vrtání děr probíhá v pulzním režimu, kdy laser vysílá jednotlivé pulzy o vysoké intenzitě záření. Lze vrtat těžkoobrobitelné kovové i nekovové materiály, kdy díry mohou být kruhové i tvarové. Hloubka vrtané díry může být až 50 mm. Pro zhotovení děr se využívají CO₂ lasery, Nd:YAG lasery a lasery excimerové. CO₂ lasery se využívají pro vyřezání kruhových i nekruhových otvorů. Nejmenší průměr vyřezávaného otvoru je 5 mm a nejmenší průměr otvoru vrtaného je 0,2 mm. Nd:YAG lasery se využívají pro vrtání děr o menším průměru, nejmenší průměr vrtané díry je 0,025 mm. Excimerové lasery se využívají především pro vrtání děr do keramiky. [6]
- **Soustružení, frézování, gravírování a mikroobrábění** – při využití laseru pro soustružení se využívají tři metody:
 - **Obrábění s předehřevem** – při této metodě se vychází z poznatku, že s rostoucí teplotou obráběného materiálu se mění jeho mechanické vlastnosti. Snižuje se tvrdost a pevnost, a tím se zlepšuje jeho obrobitelnost. Úběr materiálu spočívá v tom, že se nasměruje paprsek laseru na obráběnou plochu bezprostředně před břit nástroje.
 - **Odtavování materiálu s povrchu obrobku** – na povrch obrobku, který se otáčí proti paprsku laseru, se intenzivně přivádí teplo. Působením takto přivedeného tepla se materiál odtavuje a pomocí asistentního plynu je roztavený materiál odstraňován z místa obrábění.
 - **Odřezávání materiálu dvěma různoběžnými paprsky laseru** – dva nezávislé paprsky vzájemně skloněny pod určitým úhlem.

Pro soustružení se používají CO₂ lasery a Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 500 až 2500 W. [4] [6]

Pro frézování se používají dvě metody, které jsou již popsány u soustružení. A to odtavování nebo odpařování materiálu s povrchu obrobku a odřezávání materiálu dvěma různoběžnými paprsky laseru. Používají se jako u soustružení CO₂ lasery a Nd:YAG lasery o stejných výstupních výkonech.

Gravírování (mikrofrézování) se používá pro vytváření jednoduchých i velmi složitých reliéfů do kalených ocelí, keramiky, dřeva, gumy a jiné. Podstatou je

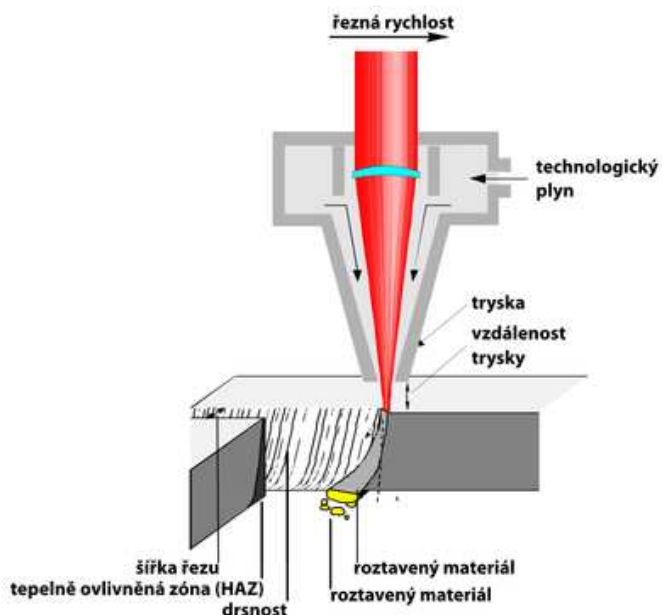
odpařování materiálu v místě, kde paprsek laseru působí. Používají se především Nd:YAG lasery pro gravírování do keramiky a kovových materiálů. Pro gravírování do dřeva a gumy se používají CO₂ lasery. [6]

- **Řezání a vyřezávání** – Řezání materiálu laserem je nejrozšířenější a nejvíce používaná metoda pro dělení všech druhů konstrukčních materiálů.

Při řezání materiálu pomocí laseru je paprsek laseru přiváděn do místa řezu soustavou zrcadel a v pracovní hlavě je zaostřován čočkou. Řezání laserem dosahujeme odstranění materiálu postupným působením paprsku a proudu plynů, nejčastěji kyslíku (O₂), dusíku (N₂), stlačeného vzduchu, argonu (Ar) nebo hélia (He). [4] [5]

Hlavní mechanismus úběru při řezání laserem se stává z:

- Erozivního účinku vysokoenergetických fotonů na povrch materiálu
- Lokálního natavení povrchu
- Odstranění taveniny odpařením nebo pomocí přídavného stlačeného plynu, který svým tlakem vyfukuje natavené částice materiálu z oblasti řezání. [5]



Obr. 9 Princip laserového řezání [11]

Vlastní proces řezání závisí na druhu materiálu a použitého plynu. Řezání pomocí laseru se může uskutečňovat těmito způsoby:

- **Sublimační řezání** – V důsledku vysoké intenzity laserového záření v místě řezu je materiál odstraňován převážně odpařováním. [6]
- **Tavné řezání** – Obráběný materiál je v místě řezání působením paprsku laseru roztaven a asistentním plynem odfukován. Vytavení materiálu se používá pro řezání kovů a dělení některých dielektrických materiálů, kde se roztavený materiál vytlačuje proudem asistentního plynu. Pro zvýšení efektivnosti se používá kyslík. Při řezání nekovových materiálů se obvykle používají inertní plyny nebo vzduch. Proud plynů navíc také vyfukuje roztavený materiál z místa řezu. [3] [6]
- **Řezání pálením** – Paprsek vycházející z laseru ohřeje materiál na zápalnou teplotu tak, že tento materiál může s přiváděným reaktivním plynem shořet v exotermické reakci. Vzniklá struska je z místa řezu odstraňována asistentním plynem.

Rychlost řezání závisí na převažujícím způsobu řezání, výstupním výkonu paprsku laseru, požadované kvalitě řezu, tloušťce a druhu materiálu obráběné součásti. Rychlost řezání kovů se pohybuje od 1 do 8 m.min⁻¹ (maximálně do 15 m.min⁻¹) při tloušťce materiálu 0,5 až 1,5 mm (maximálně 10 až 20 mm). [3] [6]

Kvalita řezu se hodnotí podle jakosti řezné plochy, kdy se dosahuje $R_a = 3,6$ až 12 μm a tloušťky TOO 0,05 až 0,2 mm. Kvalita řezu je závislá na tloušťce materiálu, z čehož vyplývá, že čím silnější materiál, tím horší kvalita řezu.

Šířka řezné spáry je ovlivněna druhem použitého laseru, materiálem a tloušťkou řezaného materiálu. [5] [6]

Na řezání se nejčastěji používají CO₂ lasery o výkonu 600 až 2000 W, které jsou nejehospodárnější pro řezání konstrukční oceli tloušťky od 6 do 7 mm, avšak technicky je možno řezat až tloušťky 20 mm. Dále se jich využívá pro řezání korozivzdorných ocelí do tloušťky materiálu 10 mm a slitiny hliníku do tloušťky materiálu 5 mm. Pro přesnější řezy a menší šířky řezné spáry se používají Nd:YAG lasery o výkonu 100 až 1000 W, kterými je možno řezat konstrukční ocel do tloušťky 6 mm, korozivzdornou ocel do tloušťky 3 mm a slitiny hliníku (dural) do tloušťky 2 mm. [6]

4 Porovnání vybraných nekonvenčních metod obrábění

V současné době je zaváděno těchto nekonvenčních progresivních metod, které jsou spojené s vysokými finančními požadavky nejen na zařízení, ale také na samotnou realizaci technologie. Při zavádění nové technologie do výroby je velice důležité se řídit určitými kritérii rozhodování. [4]

Při rozhodování se berou v úvahu vstupní údaje o:

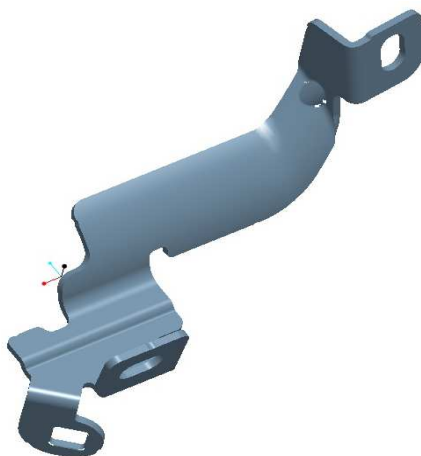
- Výrobku: rozměry, tvar, druh materiálu, teplota, síly řezání, koroze, citlivost na tlak
- Kvalitě povrchu: přesnost tvaru a rozměrové tolerance, integrita povrchu apod.
- Provozních nákladech: lidské zdroje (vzdělání, zručnost, bezpečnost, pracovní podmínky, životní prostředí), organizace (flexibilita, předpoklady pro automatizaci).
- Hospodárnosti: doba přípravy, výrobní čas, provozní náklady, kapitálové náklady (s úvahou nákladů na obsluhující personál, nástroje, upínače, údržbu a běžné výdaje). [4]

Z již dříve popisovaných nekonvenčních metod byla pro výrobu lisovacího postupového nástroje zvolena technologie řezání laserem. Tato technologie dosahuje největší rychlosti posuvu při řezání a to až $8\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, má nejmenší šířku řezu (0,02 až 1 mm), z čehož vyplývá úspora materiálu a neomezený sklon řezu. V našem případě obrobená plocha po řezání laserem neobsahovala otřepy, což je jedním z dalších důvodů, proč byla zvolena tato technologie. Laserem lze nejhospodárněji řezat tloušťky materiálu do 7 mm, to je pro naše využití jeden z dalších vynikajících faktorů. Tepelné ovlivnění materiálu při řezání laserem je 0,05 až 0,2 mm, lépe už by na tom byla jen technologie řezání vodním paprskem, kdy ovlivnění není žádné. Technologie řezání laserem se pro výrobu lisovacího postupového nástroje projevila jako nejekonomičtější, a vzhledem ke svým řezným parametrům a vlastnostem, nejvýhodnější.

5 Charakteristika a konstrukce vybraného postupového nástroje

5.1 Konkrétní zadaná součást vyráběná lisovacím postupovým nástrojem

Jak již bylo v úvodu zmíněno, tato práce popisuje využití technologie řezání laserovým paprskem při výrobě postupového lisovacího nástroje pro díl „Harness Clip“. Zákazníkem pro díl „Harness Clip“ - číslo výkresu 48868 (viz příloha 1) je firma Fuji Koyo.



Obr. 10 3D model dílu „Harness Clip“

5.1.1 Charakteristika lisovaného dílce

Výlisek „Harness Clip“ (viz obr. 10) je tvarově ohýbaná součást s vyraženým popisem a se dvěma oválnými a jedním čtvercovým otvorem. Dílec je zhotoven z materiálu o tloušťce 2 mm. Tento výlisek je zhotoven z materiálu EN 10111, což jsou plechy a pásy z nízkouhlíkových (hlubokotažných) ocelí kontinuálně válcované za tepla k tváření za studena. Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli je uvedeno v tabulce (viz tab. 4).

Označení oceli	Mechanické vlastnosti			Chemické složení				
	Mez kluzu R_s [N/mm ²]	Mez pevnosti R_m [N/mm ²]	Tažnost A_{80} [%]	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
EN 10111	170-360	440	23-28	≤0,12	-	≤0,60	≤0,045	≤0,045

Tab. 4 Mechanické vlastnosti a chemické složení [15]

5.2 Postup realizace výroby postupových nástrojů ve firmě Klein & Blažek

Firmě Klein & Blažek spol. s r.o. jsou zákazníkem dodány podklady nutné pro zahájení realizace projektu. Pro konstrukci a výrobu postupových lisovacích nástrojů je zapotřebí výkres výlisku (viz příloha 1), 3D model výlisku (viz obr. 10), informace o plánovaném ročním objemu výroby a také plánovaná doba produkce, která většinou bývá 5 až 10 let. V některých případech se hned na samotném začátku projektu uskuteční technické jednání mezi zákazníkem a výrobcem nástroje. Na tomto jednání se dořeší případné nejasnosti ohledně výkresu dílu, popřípadě způsobu měření a jiné další nejasnosti spojené s výrobou nástroje.

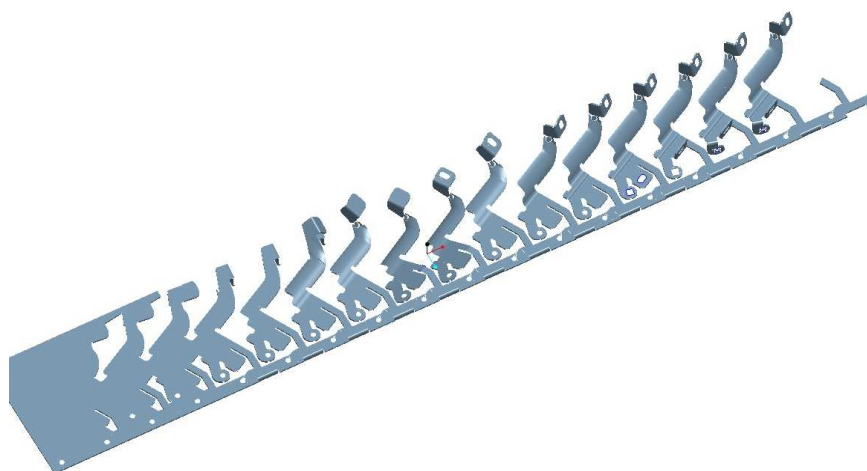
Na základě 3D modelu a výkresu dílu je nejprve nutné připravit takzvaný rozvinutý tvar výlisku (viz obr. 11). Tohoto rozvinutého tvaru je dosahováno tak, že 3D model hotového výlisku je postupně v několika krocích „narovnáván“ (rozvíjen). 3D model výlisku je rozvíjen tak, abychom se dostali do stavu, kdy celý tvar výlisku je rozvinut do rovny plochy, což je vlastně plocha plechu, který do nástroje na začátku vstupuje. Postup získávání a zjišťování rozvinutého tvaru výlisku je poměrně komplikovaný a ve většině případů je nutné použít speciální počítačový software. Obvykle má každá firma, která se zabývá výrobou lisovacích postupových nástrojů, specialistu na přípravu těchto podkladů pro finální konstrukci.



Obr. 11 Rozvinutý tvar výlisku

Při vytváření rozvinutého tvaru dílu není jediným cílem získat tento rozvin. Tento postup rozvinování je nutné dělat s ohledem na to, že postup jakým díl „narovnááme“ je vlastně obrácený postup toho, jak díl budeme nakonec v nástroji lisovat. Z toho vyplývá, že při vlastní tvorbě rozvinu dílu, také získáme jednotlivé kroky lisování.

Z těchto jednotlivých kroků je sestaven postup lisování výlisku tzv. „layout“ (viz obr. 12). Jednotlivé kroky jsou umístěny za sebe ve správném sledu, a to od rovného plechu, který do nástroje vstupuje, až po hotový výlisek na konci. Návrh tohoto postupu (layoutu) je naprostou klíčovou záležitostí při výrobě postupových lisovacích nástrojů. Při zvolení špatného lisovacího postupu může dojít k nedodržení rozměrů finálního výlisku daných výkresem. Při zvolení naprosto špatného postupu lisování hrozí i možnost naprosté nevyrobitelnosti (nelisovatelnosti) součásti.

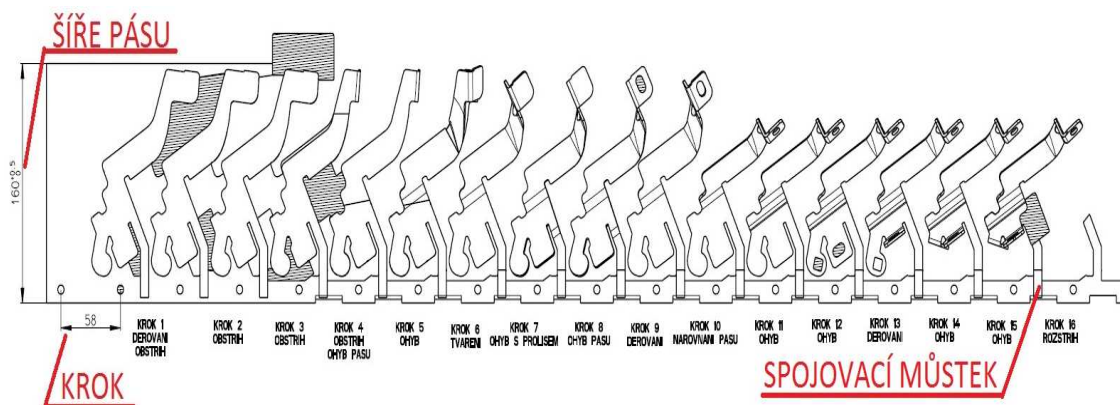


Obr. 12 Postup lisování výlisku, tzv. „layout“

Z nástříhového plánu (viz obr. 15) je zřejmý rozvinutý tvar součásti a její postavení na páse plechu. Vzhledem k úspoře materiálu a ohybům obou stran byla součást umístěna příčně, a to kolmo ke směru válcování pásu.

Při tvorbě postupu lisování (layoutu) je dále nutné stanovit dva důležité parametry postupového lisovacího nástroje a to takzvanou „šířku pásu“ a „krok“ (viz obr. 13). Šířkou pásu se rozumí šířka plechového pásu, ze kterého se bude výlisek lisovat. Druhým zmíněným parametrem je krok, čímž se rozumí vzdálenost mezi dvěma sousedními díly v layoutu. Je velmi důležité si uvědomit to, že použitý „krok“ musí být mezi všemi operacemi v layoutu stejný. Podstata postupového nástroje je v tom, že od první operace na začátku, až po poslední operaci na konci musí být všechny díly spojeny. Toto spojení je zabezpečeno takzvaným „spojovacím můstkem“ (viz obr. 13). To znamená, že jakmile posunu díl v první operaci, tak se o úplně stejnou vzdálenost posunou všechny ostatní díly ve všech ostatních operacích. Na základě šířky pásu a kroku je následně stanovena takzvaná „spotřeba materiálu“, a z ní se dále stanoví cena

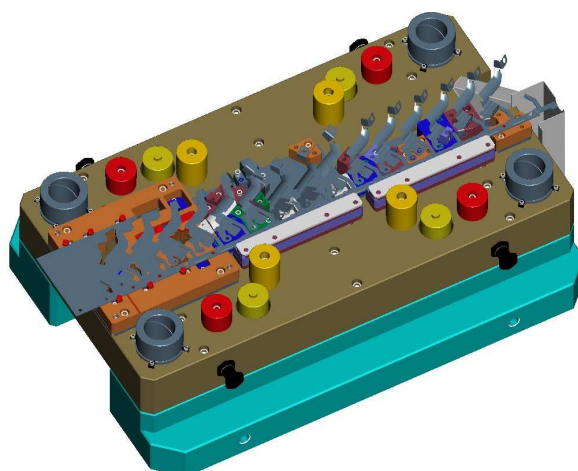
materiálu potřebná na jeden výlisek. Na stanovení spotřeby materiálu je kladen velký důraz, jelikož má zásadní vliv na cenu výsledného výlisku. Stanovení velikosti kroku je velice důležité, protože po výrobě nástroje je prakticky nemožné velikost kroku změnit.



Obr. 13 Důležité parametry postupového lisovacího nástroje

Ve většině případů je postupový lisovací nástroj majetkem firmy, která si objednala výrobu samotných dílů (např. Fuji Koyo, Škoda auto), a proto po vypracování postupu lisování (layoutu) se tento postup musí nechat schválit konečným zákazníkem.

Poté je na základě layoutu vytvořena konstrukce postupového lisovacího nástroje. V případě požadavků zákazníka se i konstrukce nástroje musí nechat schválit u zákazníka. Ihned po schválení a dokončení konstrukce a vydání výkresové dokumentace následuje samotná výroba a následná montáž nástroje.



Obr. 14 Konstrukce nástroje s viditelným layoutem.

Po dokončení montáže nástroje proběhne první zkušební lisování, které je určeno pouze k ověření, popřípadě doladění. Po doladění správné montáže nástroje následuje první lisování výlisků.

Po prvním lisování je potřeba celý výlisek kompletně změřit podle výkresové dokumentace. Měření je prováděno na 3 – osm měřícím stroji. Jsou-li během měření zjištěny odchylky oproti výkresové dokumentaci výlisku, je nutné provést korekce a lisování s následným měřením opakovat. Korekce je nutné provádět tak dlouho, dokud rozměry výlisku neodpovídají výkresové dokumentaci.

Kromě dosažení požadovaných rozměrů je také nutné, aby nástroj byl schopen lisovat v sériových podmínkách. To znamená, aby lisování probíhalo bez jakýchkoliv problémů, bez nutnosti zásahů obsluhy lisu a dále, aby byly dodrženy všechny bezpečnostní opatření předepsaná pro lisovací nástroje. Nástroj musí být schopen pracovat v předepsaném sériovém taktu (20 – 60 výlisků za minutu) a podobně.

Jakmile je nástroj v takovém stavu, že lisuje díly odpovídající výkresu a je schopen použití pro sériovou výrobu, je nalisováno větší množství výlisků (500 – 2000, dle požadavků zákazníka). Z těchto výlisků je vybráno 5 kusů, které jsou následně změřeny na 3 – osm měřícím stroji a je vypracován protokol o měření. Díly včetně měřících protokolů jsou předány zákazníkovi ke konečnému odsouhlasení.

Po odsouhlasení rozměrů a kvality dílů zákazníkem většinou také proběhne přejímka nástroje, kdy přijede zástupce zákazníka a osobně zkontroluje zpracování nástroje a je také přítomen lisování za sériových podmínek. Je – li vše v pořádku, na základě přejímky je nástroj předán do výroby a tím končí celý proces výroby lisovacího postupového nástroje.

5.3 Základní popis funkce postupového lisovacího nástroje

Postupové lisovací nástroje jsou vysoce produktivní nástroje vhodné pro výrobu menších a středně velkých dílů v hromadné výrobě (pro prakticky nekonečné série). Ve firmě Klein & Blažek se postupové lisovací nástroje používají pro lisování dílů, kde se požadovaná roční produkce pohybuje od 50 000 kusů, až po několik miliónů výlisků za rok. Pracovní proces je plně automatický a jediným okamžik, kdy člověk ovlivňuje pracovní chod, je při výměně svitku na automatické odvíječce, a při zakládání plechového pásu do nástroje a jeho rozjždění.

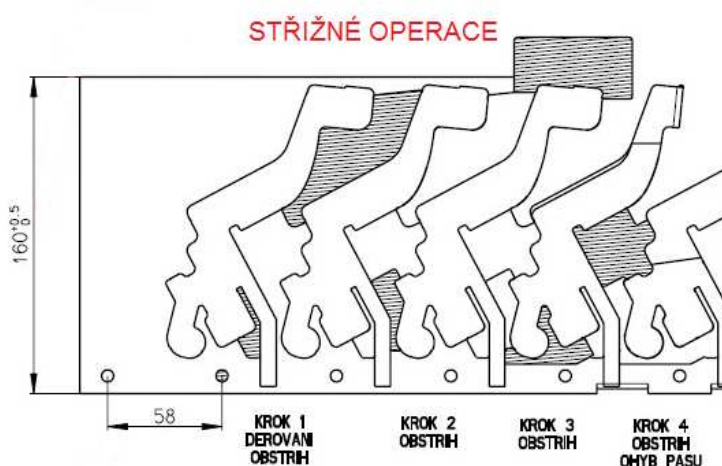
Základním principem funkce lisovacího postupového nástroje je, že z rovného pásu plechu, který vstupuje do nástroje, je v několika krocích (pomocí stříhů, ohybů

a tvářecích operací) vylisován požadovaný tvar součásti. Počet kroků, ve kterých lisování probíhá je dán tvarem (složitostí) výsledného výlisku. Počet těchto kroků stanoví konstruktér, popřípadě specialista při přípravě rozvinutého tvaru dílce. Sled jednotlivých operací je pro většinu postupových nástrojů velice podobný.

Charakteristika jednotlivých kroků při výrobě dílu „Harness Clip“ (viz obr. 13):

Krok 1 – Děrování, obstřih	Krok 9 – Děrování
Krok 2 – Obstřih	Krok 10 – Narovnání pásu
Krok 3 – Obstřih	Krok 11 – Ohyb
Krok 4 – Obstřih, ohyb pásu	Krok 12 – Ohyb
Krok 5 – Ohyb	Krok 13 – Děrování
Krok 6 – Tváření	Krok 14 – Ohyb
Krok 7 – Ohyb s prolisem	Krok 15 – Ohyb
Krok 8 – Ohyb pásu	Krok 16 – Roztřih

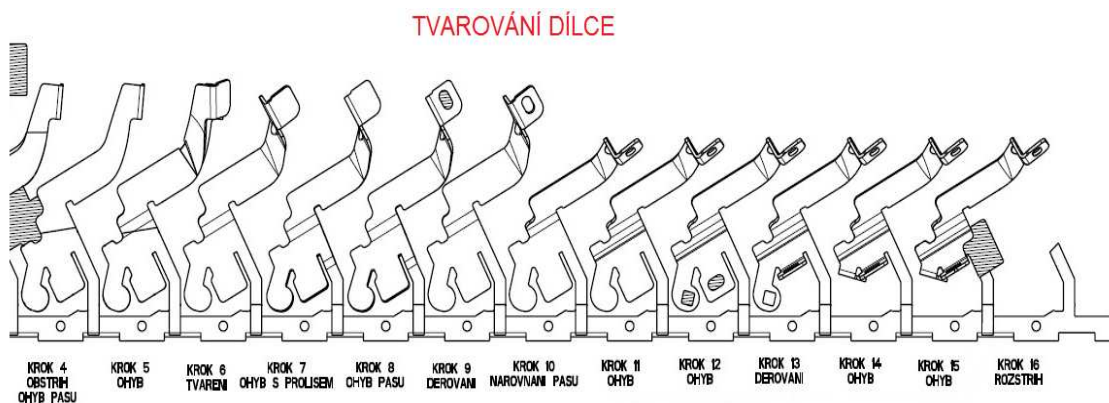
V prvních krocích jsou většinou střížné operace (viz obr. 15), kde se pás plechu, vstupující do nástroje, postupně ostříhává. Ostříhává se tak, aby zůstal jen předpokládaný rozvinutý tvar dílu a spojovací můstek pro přenos dílů v celém průběhu lisování.



Obr. 15 Zakreslení střížných operací.

Po střížných sekcích následuje tvarování dílce (viz obr. 16). V jednom nebo více krocích je podle složitosti vytvarován hlavní tvar celého dílu. Pro zajištění stability

rozměrů se po vytvarování dílu velice často používá krok takzvané kalibrace, kdy je celý tvar dílu ještě jednou přelisován. Po následné kalibraci následují operace, kde se do vytvarovaného dílu vystřihují různé otvory, popřípadě se provádí ohyb jednotlivých částí dílu. Tyto operace se provádějí až po vytvarování, protože je nutné dodržet přesnou polohu vzhledem ke tvaru dílu daného výkresem. Poslední operací je vždy odstřížení spojovacího můstku. Po odstřížení nám hotový výlisek vypadává ven z pracovního prostoru nástroje, kde je většinou pomocí pásového dopravníku odváděn z pracovního prostoru lisu do přepravní palety. Ve výjimečných případech musí obsluha lisu výlisky z pásu odebírat ručně, aby nedošlo k jejich poškození vlivem pádu do palety.



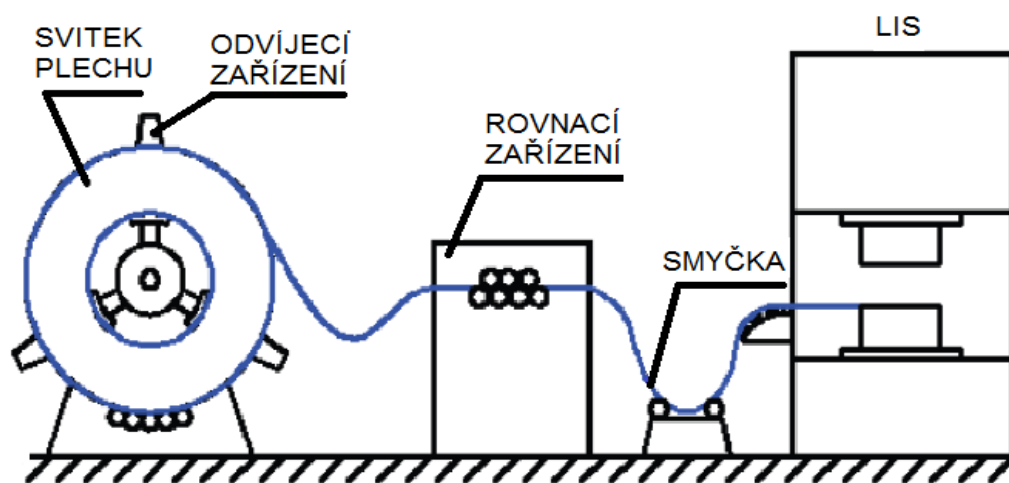
Obr. 16 Náskres tvarování dílce.

5.3.1 Základními parametry postupových lisovacích nástrojů

- **Rozměry nástroje (šířka \times délka \times výška)** – na základě rozměrů nástroje se volí lis, na kterém bude nástroj provozován
- **Potřebná lisovací síla** – síla, kterou je potřeba vyvinout, aby byl výlisek vylisován v požadované kvalitě a přesnosti. Lisovací síla je dána velikostí lisovaného dílu a předepsaným materiálem (jeho tloušťkou a jakostí). Potřebnou lisovací sílu stanovuje konstruktér nástroje. Tato síla se stanovuje na základě výpočtu, nebo pomocí počítačové simulace procesu lisování. Na základě zvolené potřebné lisovací síly se volí lis, na kterém bude nástroj provozován.
- **Šířka pásu a krok** – Jak již bylo zmíněno, šířkou pásu se rozumí šířka plechového pásu, ze kterého se výlisek bude lisovat. Krokem se rozumí vzdálenost mezi dvěma sousedními díly v layoutu. Krok musí být mezi všemi operacemi v layoutu stejný.

5.3.2 Nezbytné technické vybavení pro provoz postupových nástrojů

Pro provozování postupových lisovacích nástrojů je nezbytná lisovací linka (viz obr. 17). Tato linka zvyšuje produktivitu samotné výroby a zvyšuje bezpečnost práce. Postupové lisovací nástroje jsou používány na automatických lisovacích linkách, do kterých je zařazeno odvíjecí zařízení, rovnací zařízení, podávací zařízení a samotný lis, na kterém je nástroj ustaven.



Obr. 17 Lisovací linka. [18]

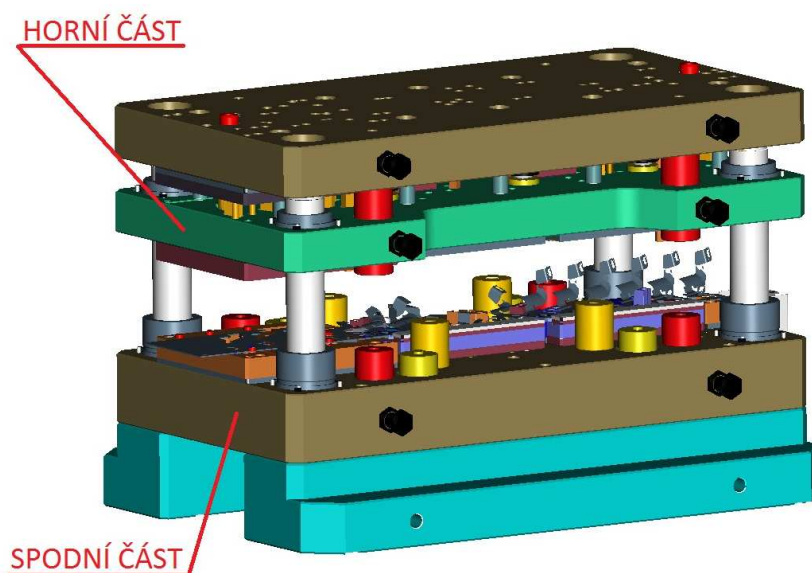
- **Lis** – je zařízení, které je naprosto nezbytné pro provozování jakýchkoli lisovacích nástrojů. Nejdůležitějšími parametry lisů je lisovací síla a velikost pracovního stolu, na který se lisovací postupové nástroje upínají. Ve firmě Klein & Blažek jsou k dispozici lisy s lisovací silou od 63 tun a velikostí pracovního stolu 400 x 500 mm, až po lis se silou 630 tun a velikostí pracovního stolu 1500 x 4000 mm. V současné době probíhají ve firmě přípravné práce pro pořízení lisu se silou 800 tun a velikostí pracovního stolu 2000 x 5000 mm. Volba lisu pro konkrétní nástroj je závislá na základních parametrech každého jednotlivého nástroje.
- **Podávací zařízení** – jedním ze základních parametrů každého postupového lisovacího nástroje je „krok“. Podávací zařízení slouží k tomu, aby v daný moment posunulo pás plechu odvíjeného ze svitku o nastavenou hodnotu.
- **Rovnácí zařízení** – plechové pásy o předepsané šířce a tloušťce se nakupují srolované do svitků. Pro bezproblémový chod postupového lisovacího nástroje

je nutné, aby nástrojem pás plechu procházel rovný. Pás plechu, který je odvíjen ze svitku samozřejmě rovný není, a proto v lisovací lince je rovnací zařízení, které slouží ke srovnání odvíjeného plechového pásu.

- **Odvíjecí zařízení** – zařízení slouží k pomalému odvíjení plechového pásu a zároveň slouží k umístění a upevnění svitku.

5.4 Popis základních částí postupového lisovacího nástroje

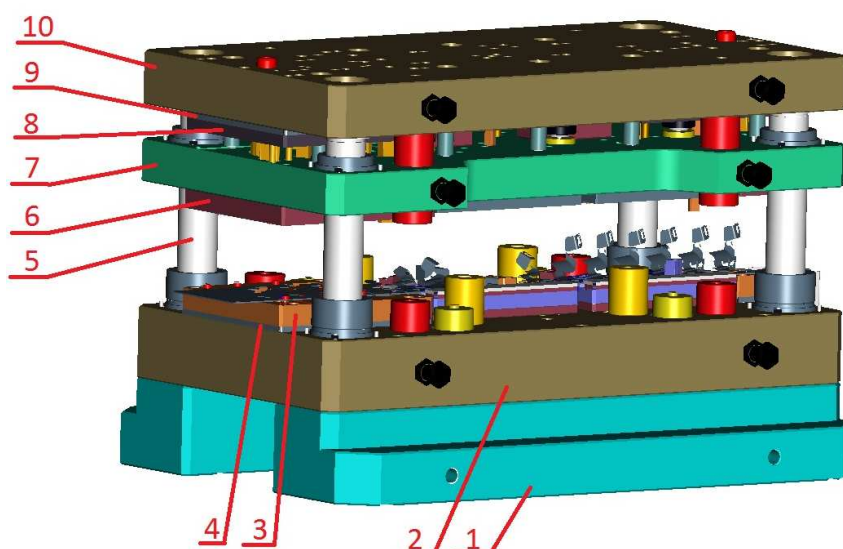
Pro zhotovení součásti „Harness Clip“ (viz obr. 10) byl zkonstruován lisovací postupový nástroj (viz obr. 18), kterým se uvedený výlisek zhotovuje na 16 operací. (viz obr. 12). Postupový lisovací nástroj se skládá ze dvou hlavních částí, a to ze spodní a horní části nástroje (viz obr. 18). Kompletní sestava postupového nástroje včetně rozpisek všech pozic je přiložena v příloze. (viz příloha 2,3)



Obr. 18 Konstrukce lisovacího postupového nástroje

Spodní část nástroje je pevně upnuta k pracovnímu stolu lisu. Do této spodní části nástroje je zaváděn pomocí podávacího zařízení pás plechu, který je odvíjen ze svitku. Horní část nástroje je upnuta k pohyblivému beranu lisu, který vykonává cyklický pohyb ve svislém směru. Rozmezí mezi dolní a horní úvratí, ve kterém se pohybuje beran lisu, se nazývá „zdvih“. Tento „zdvih“ beranu lisu je nastavitelný. Každý nástroj je opatřen dorazy, kdy jedna sada dorazů je připevněna na spodní část nástroje a druhá sada dorazů je připevněna k horní části nástroje. Při každé instalaci nástroje na lis je nutné zdvih beranu lisu nastavit tak, aby nejnižší bod pohybu beranu lisu byl právě

ve výšce, kde se horní a spodní dorazy téměř potkají. Maximální povolená vzdálenost mezi dorazy je 0,05 mm. Toto nastavení je naprosto nutné a nezbytné k zaručení správné funkčnosti nástroje.



Obr. 19 Základní části lisovacího postupového nástroje

- **Podložky nástroje (materiál 11 523) pozice 1** – každý typ lisu má předepsané určité rozmezí výšek nástrojů, které lze na tento daný lis upnout. Podložky nástrojů slouží k přizpůsobení nástrojů na jednotlivé lisy.
- **Základová deska (materiál 11 523, GG25) pozice 2** – tato deska je hlavní součástí spodní části nástroje. Na této základové desce jsou připevněny všechny ostatní díly spodní části nástroje. Deska musí být zkonstruována dostatečně masivně, aby nedocházelo k její deformaci způsobené vlivem sil působících v průběhu lisování. U nástrojů určených pro výrobu složitějších a větších dílů bývá často tato deska odlita ze šedé litiny.
- **Funkční části nástroje (materiál 19 573, kaleno na 50 – 54 HRC) pozice 3** – jedná se o veškeré aktivní (činné) části nástroje, které tvarují výlisek. V případě stříhání jde o razníky a střižné desky. V případě tvarování a ohybu výlisku jde o ohybníky, ohybnice, tvárníky a tvárnice.
- **Podložky (materiál 19 312, kaleno na HRC 40-48) pozice 4 a 9** – podložky se nacházejí jak ve spodní, tak v horní části nástroje. Funkcí podložek je podpora všech menších namáhaných součástí nástroje (vložek, razníků, ohybníků,

tvárníků apod.), aby nedošlo vlivem působení síly při lisování k jejich zatlačení do tepelně nezpracovaných základových a upínacích desek. Pokud by došlo k zatlačení těchto částí do „měkkých“ velkých desek, mohlo by dojít k nestabilitě při lisování a výlisek by neměl požadovaný tvar, rozměry a kvalitu dle výkresové dokumentace.

- **Vodící elementy pozice 5** – tyto části nástroje slouží k zajištění správné vzájemné polohy mezi spodní a horní částí nástroje. Tyto díly se většinou nevyrábí, jelikož se jedná o standardizované díly.
- **Stírací (přítlačné) desky (materiál 19 573, kaleno na HRC 48-52) pozice 6** – tyto desky jsou připevněny na vodící desku a celý tento blok je vůči horní upínací desce odpružený. Je to z toho důvodu, aby síla vyvolaná pružinami zajistila dokonalé sevření pásu ke spodní části. Až v momentě, kdy je pás přitlačený silou pružin ke spodní části, je možné začít plech tvářet. Další funkci, kterou stírací desky plní, je navedení razníků a ohybníků do správné polohy vůči spodní části nástroje.
- **Vodící deska (materiál 11 523) pozice 7** – k této desce jsou upevněny všechny stírací desky. Mezi vodící a upínací deskou jsou stlačovány pružiny zajišťující sevření pásu.
- **Kotevní desky (materiál 11 523) pozice 8** – úkolem kotevních desek je zajištění správné polohy razníků a ohybníků.
- **Upínací deska (materiál 11 523) pozice 10** – upínací deska slouží k upnutí horní části nástroje k beranu lisu. V upínací desce jsou ukotveny vodící elementy a dále jsou k ní přišroubovány všechny razníky a ohybníky ukotvené v kotevních deskách. Mezi upínací deskou, razníky a ohybníky ukotvených v kotevních deskách jsou podložky, které zabraňují zamačkávání razníků a ohybníků právě do upínací desky.

6 Návrh vhodné technologie pro vybraný postupový nástroj

Ve firmě Klein & Blažek je v procesu výroby postupových lisovacích nástrojů využita technologie řezání laserem, a to ve dvou etapách. V prvním případě je této technologie využito při samotné výrobě lisovacího postupového nástroje. V druhém případě je technologie využita při dokončování (dolaďování) nástroje, aby měl zhotovený výlisek rozměry dané výkresovou dokumentací dílu.

6.1 Strojní vybavení - Laser LC – 2415 Alpha III

Universální laser LC – 2415 Alpha III je navržen a zkonstruován tak, aby splňoval požadavky vysoké sériové výroby komponentů z plechu. Stroj umožňuje rychlé nastavení a seřízení, jehož řídicím systémem je Fanuc series 160 i – L. Dalším velkým kladem tohoto stroje je snadná manipulace s materiálem a jeho rychlé ustavení na pracovním stole. Pracovní pohyb tohoto stroje vykonává v ose Y a Z laserová hlavice a pohyb v ose X vykonává pracovní stůl stroje.



Obr. 20 LC – 2415 Alpha III

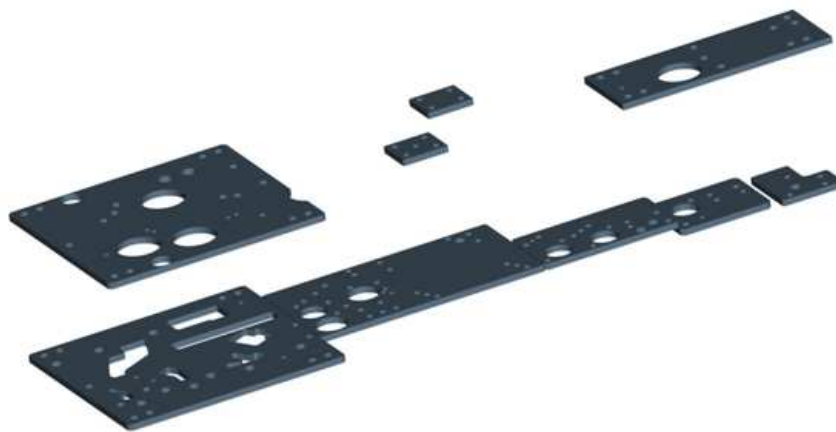
Hlavními parametry stroje, kterými LC – 2415 Alpha III disponuje, jsou následující:

- | | |
|-----------------------|----------|
| • Pohyb v ose X | 2520 mm |
| • Pohyb v ose Y | 1550 mm |
| • Pohyb v ose Z | 300 mm |
| • Rychloposuv v ose X | 80 m/min |
| • Rychloposuv v ose Y | 80 m/min |

• Rychloposuv v ose Z	60 m/min
• Maximální řezná rychlost	20 m/min
• Maximální tloušťka plechu (ocel)	12 mm
• Maximální tloušťka plechu (nerezová ocel)	10 mm
• Maximální tloušťka plechu (hliník)	8 mm
• Maximální hmotnost plechu	330 kg
• Přesnost nastavení polohy	+/- 0,005 mm
• Hmotnost stroje	6 200 kg
• Spotřeba plynu	20 l/hod
• Plynové médium laseru	CO ₂ , N ₂
• Výkon Laseru	3 kW
• Rozměry stroje	5700 x 2510 x 2275 mm

6.2 Využití laseru při výrobě nástroje

Jak již bylo dříve popsáno a znázorněno, lisovací postupový nástroj se skládá z mnoha jednotlivých částí. Laserové řezání je využito při výrobě kalených podložek (viz obr. 21). Funkcí těchto podložek je podpora menších činných částí nástroje, aby nedošlo k jejich zamačkávání do základové, popřípadě upínací desky nástroje vlivem lisovací síly. Výkres jedné z kalených podložek je přiložen v příloze (viz příloha 4). Z výkresu je patrné, že tvar i rozměry všech otvorů v desce nejsou nijak tolerované. Celkové rozměry a ani žádný z otvorů v těchto deskách nejsou nijak důležité pro funkci nástroje. Přesnost, ve které je laser schopný otvory vyřezat, je tedy naprosto dostačující, a z tohoto důvodu se možnost použití této technologie jasně nabízí.



Obr. 21 Kalené podložky použité v nástroji

6.2.1 Původní postup výroby kalených podložek

Ve firmě Klein & Blažek probíhala původní výroba těchto podložek takto:

- **Nákup polotovaru** – podle výkresové dokumentace dílu (jakost ocele a celkové rozměry) je objednán materiál. Ve firmě byly standardně kalené opěrné podložky vyráběny z oceli ČSN 19 312 nebo ČSN 19733.
- **Frézování** – hrubování základního tvaru kalené podložky
- **Frézování, vrtání** – zhotovení všech otvorů a sražení hran dle výkresu
- **Tepelné zpracování** – kalení obrobku na předepsanou tvrdost předepsanou výkresovou dokumentací dílu
- **Broušení** – jediný tolerovaný rozměr u kalených podložek je výška a drsnost spodní a horní plochy. Výška u kalených podložek je většinou $8^{+0,01}_{-0,01}$ mm a drsnost spodní a horní plochy desky $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Pro snadnou montáž a také pro správnou funkci nástroje je nutné, aby výška všech kalených podložek v nástroji byla stejná, a to jak pro spodní, tak pro horní část nástroje. Broušení se proto provádí až jako poslední operace a snaha je vždy brousit všechny podložky najednou. Takto je zaručena naprosto stejná výška všech podložek v nástroji.

Vzhledem k tomu, že nástrojárna firmy Klein & Blažek nemá k dispozici vlastní kalicí pec pro takto velké obrobky, je nutné kalení provádět v externích firmách. Tímto je samozřejmě ovlivněna celková doba potřebná na výrobu těchto součástí nástroje. Běžná výrobní doba kalených podložek je 7 až 10 pracovních dnů.

6.2.2 Výroba kalených podložek s využitím technologie řezání laserem

Při využití technologie řezání laserem je oproti původní technologii výroby použit naprosto odlišný materiál. V původní technologii byla použita ocel ČSN 19 312, kde bylo nutno pro dosažení předepsané tvrdosti (40 - 48 HRC) provést tepelné zpracování (kalení). Tato ocel byla nahrazena ocelí s obchodním označením TOOLOX 44, která byla dodána od prodejce JKZ Bučovice. Tato ocel má požadovanou tvrdost již v základním (surovém) stavu a není proto nutné ocel dále tepelně zpracovávat. Materiálový list je přiložen v příloze (viz příloha 5). Postup výroby kalených podložek s využitím technologie řezání laserem je následující:

- **Nákup polotovaru** – materiál TOOLOX 44
- **Řezání laserem** – kompletní tvar desky včetně všech otvorů je vyřezán
- V případech, kdy výkres předepisuje sražení obvodových hran, je nutné zařadit další operaci, a tou je právě sražení obvodových hran. Toto sražení je prováděno na CNC frézovacím stroji. Sražení obvodových hran není z pohledu funkce v samotném lisovacím nástroji nijak důležité (jedná se spíše o estetickou záležitost). V případě využití technologie laserového řezání se proto většinou obvodové sražení hran neprovádí.
- **Broušení** – Tato operace zůstala stejná jako při původní technologii výroby.

6.3 Využití laseru při prvních zkouškách a při doladování nástroje

V této fázi realizace postupového lisovacího nástroje je nástroj téměř kompletně hotový, smontovaný a připravený k prvním zkouškám na lise. Nástroj je vyroben dle výkresové dokumentace, která vychází z konstrukce nástroje. Pro konstrukci každého nástroje je základním kamenem nástřihový plán (layout). Základní kámen každého nástřihového plánu je rozvinutý tvar finálního výlisku.

Nyní se vracíme na úplný začátek výroby nástroje. Teprve při prvních zkouškách nástroje na lise se potvrdí, popřípadě vyvrátí, správnost a vhodnost zvoleného postupu lisování, a také správnost a přesnost rozvinutého tvaru výlisku. Po provedení první zkoušky nástroje se provede kompletní změření výlisku a vyhodnotí se odchylky tvaru výlisku oproti výkresové dokumentaci. Rozměrová a tvarová přesnost dílu vychází samozřejmě z výkresu výlisku, ale obecně lze říci, že se ve většině případů kontrolují tři základní věci:

- Tvary ploch výlisku – tvary obecných tvarových ploch (rovinnost, kolmost, přímost, rovnoběžnost, apod.)
- Velikost a poloha otvorů
- Ořezové hrany výlisku – ořezové hrany definují velikost celého výlisku

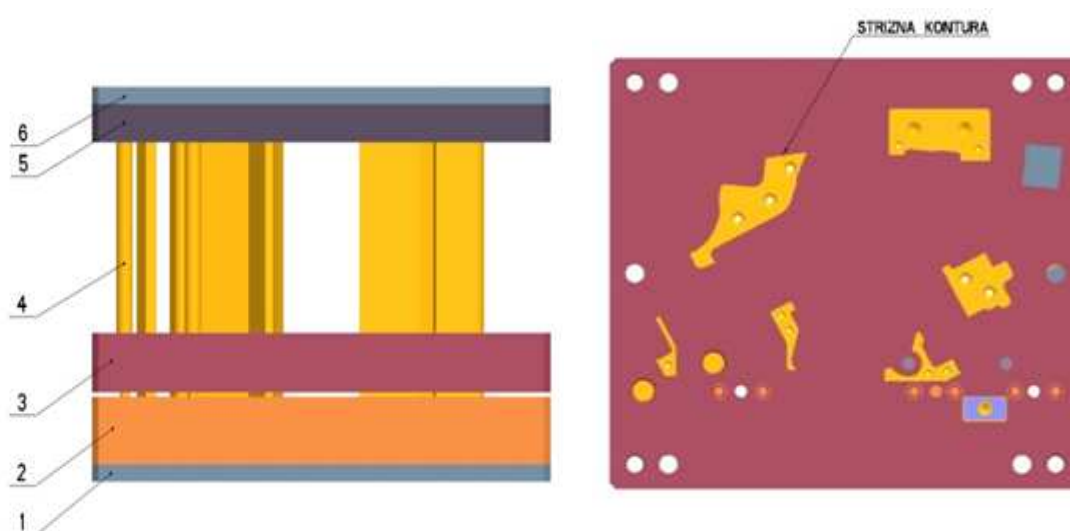
Na základě těchto náměrů se následně začnou provádět na nástroji úpravy (korekce). Ve většině případů je nutné úpravy provést jak na tvarových částech nástroje

(ohybníky, ohybnice, tažníky, tažnice), tak i na střížných částech nástroje. Střížné části nástroje nám definují tvar a polohu ořezových hran a také polohu a velikost otvorů.

Odchytky na ořezových hranách a na poloze otvorů jsou způsobeny převážně vlivem procesu tvarování výlisku. Při tvarování výlisku dochází k přetváření materiálu a vlivem tohoto přetváření může docházet k těžce definovatelným deformacím výlisku (lokální ztenčení materiálu, překládání materiálu, vytáčení výlisku mimo požadovanou polohu v nástroji, apod.). Všechny tyto nežádoucí jevy lze velmi obtížně nějak definovat a kompenzovat již při tvorbě rozvinutého tvaru výlisku. Z toho vyplývá, že při doladování nástroje velice často nastane nutnost změny rozvinutého tvaru výlisku, popřípadě také změna polohy otvorů. V této chvíli přichází na řadu již zmíněná technologie řezání laserem, která se využívá na odstranění těchto odchylek. Obecně lze tedy říci, že ve fázi zkoušení postupových lisovacích nástrojů nám řezání laserem může buď z části, nebo kompletně nahradit střížné sekce nástroje.

6.3.1 Původní postup doladování nástroje

Bez využití technologie řezání laserem je nutné, aby již pro první zkoušky byl nástroj kompletně smontován. V našem případě je tímto myšleno, že musí být kompletně vyrobeny i všechny střížné sekce nástroje. Střížná sekce nástroje je složena z několika jednotlivých komponentů (viz obr. 22).



Obr. 22 Střížná sekce nástroje

- | | | |
|----------------------------|------------------|--------------------------|
| 1. Opěrná podložka spodní | 3. Stírací deska | 5. Kotevní deska |
| 2. Matrice (střížná deska) | 4. Razník | 6. Opěrná podložka horní |

Pro zajištění správné funkce celé střížné sekce je nutné, aby byla vyrobena přesně podle výkresové dokumentace. V tomto případě se jedná hlavně o vyřezání všech střížných kontur do všech desek. Střížné kontury musí být ve všech deskách naprosto stejné, pouze u matrice (viz příloha 6) je kontura zvětšena o střížnou vůli (velikost střížné vůle je závislá na tloušťce a jakosti stříhaného materiálu). Střížné kontury v deskách jsou zhotoveny pomocí technologie elektroerozivního řezání drátovou elektrodou. Výrobní postup těchto komponent je následující:

- **Nákup polotovaru** – podle výkresu (jakost oceli a celkové rozměry) dílu je objednan materiál. Ve firmě Klein & Blažek jsou standardně používány tyto materiály:
 - Matrice (střížné desky) a razníky - materiál ČSN 19 573
 - Stírací desky – materiál ČSN 19 312, nebo ČSN 19 733
 - Kotevní desky – materiál ČSN 11 523
- **Frézování** – hrubování (příprava polotovaru)



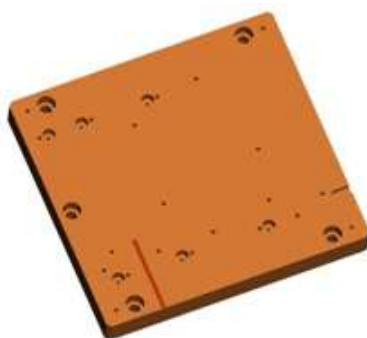
Obr. 23 Hrubování dílce

- **Frézování (popř. vrtání)** – zhotovení netolerovaných otvorů a sražení hran dle výkresu



Obr. 24 Zhotovení otvorů, sražení hran

- ***Tepelné zpracování*** – kalení obrobku na výkresem předepsanou tvrdost
 - Matrice (střížné desky) a razníky - tvrdost 50 – 54 HRC
 - Stírací desky – tvrdost 46 – 48 HRC
- ***Zhotovení startovacích otvorů pro řezání drátovou elektrodou***



Obr. 25 Zhotovení startovacích otvorů

- ***Řezání drátovou elektrodou*** – vyřezání všech střížných kontur



Obr. 26 Vyřezání střížných kontur

- ***Broušení*** – přebroušení desek na přesnou výšku danou výkresem. Většinou je výška tolerována $\pm 0,01\text{mm}$. Broušení je poslední výrobní operace.

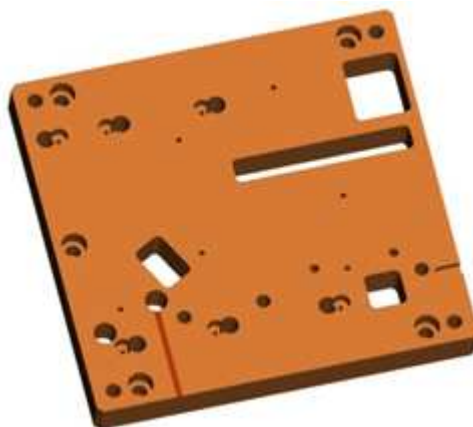
Výrobní postup všech desek ve střížné části nástroje je stejný. Jediná odlišnost je u kotevní desky, kterou není potřeba tepelně zpracovávat, jelikož u ní z hlediska své funkce není potřeba větší pevnosti. Z tohoto důvodu se také kotevní desky nevyrábí z nástrojových ocelí, ale z oceli ČSN 11 523.

Jakmile proběhne první zkouška nástroje, celý výlisek se proměří. Jsou – li zjištěny odchylky výlisku vůči výkresové dokumentaci, je nutné provést korekce.

Ve většině případů se korekce týkají střížných sekcí nástroje. Úprava střížné sekce nástroje spočívá v potřebě změnit tvar výsledného stříhu. To znamená změnit tvar razníku, což sebou nutně nese také změnu tvaru střížných kontur ve všech deskách střížné sekce nástroje. Při korekcích nástroje ve fázi odlad'ování není potřeba, aby nástroj lisoval větší výrobní série. Při odlad'ování se většinou lisují jen desítky kusů. Proto není nutné s každou korekcí vyrábět všechny desky celé znovu. V tomto případě je vhodné použít návarů v místech stříhu. Nenavařuje se celá výška razníku, ale pouze oblast kde se materiál stříhá, což znamená návar max. 10 mm vysoký od střížné hrany. Tímto nám odpadne nutnost upravovat horní kotevní desku. Upravit se tedy musí razník, matrice a stírací deska. Pokud potřebujeme zvětšit razník, navaříme ho a ostatní desky se na drátovce přeřezou. Pokud potřebujeme razník zmenšit, tak se přeřeže a matrice se stírací deskou se musí navařit a přeřezat. Při dolad'ování nástroje je naprosto běžné, že se korekce střížné sekce musí udělat několikrát, a to samozřejmě znamená několikrát opakovat popsaný postup navařování a následného přeřezání střížných kontur. Když po odladění nástroje výlisek odpovídá výkresu, proběhne takzvaná přejímka nástroje, kdy si majitel kontroluje stav a kvalitu zhotovení nástroje. Většina zákazníků nedovoluje sériové lisování, pokud jsou v nástroji nějaké navařované střížné hrany. Z tohoto důvodu se vždy po dokončení nástroje (odladění střížných kontur) musí vyrobit všechny navařované desky a razníky znovu. Tento fakt samozřejmě velice výrazně prodražuje celou výrobu nástroje, protože právě střížné a stírací desky patří k nejnákladnějším komponentům nástroje, co se týká výrobních nákladů.

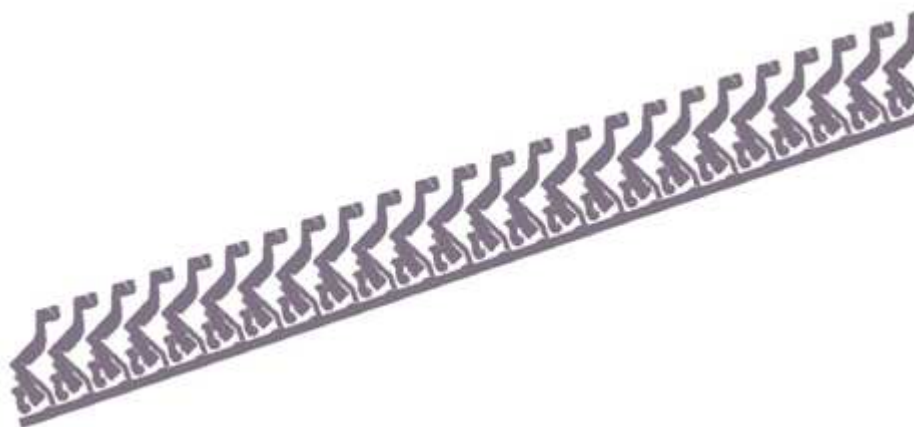
6.3.2 Postup dolad'ování nástroje s využitím technologie řezání laserem

Jak již bylo dříve zmíněno, prakticky kompletní funkci střížné sekce nástroje lze nahradit vhodným využitím technologie řezání laserem. Celý uvedený postup výroby jednotlivých komponentů pro střížnou sekci nástroje je stejný jako u původního postupu, ale s tím rozdílem, že se do těchto desek neřežou střížné kontury. Zde se nachystají pouze startovací otvory. Stejně tak jako se neřežou střížné kontury do desek, tak se nevyrábí ani razníky. V případě razníků se pouze připraví polotovary. Jinak je technologický postup naprosto shodný.



Obr. 27 Zhotovení desky bez střížných kontur

Po dokončení výroby všech komponentů nástroje proběhne montáž a nástroj je připraven k prvnímu lisování. Protože ale v nástroji nejsou dokončeny střížné sekce, lisování by z plechového pásu nebylo možné. V tento moment přichází na řadu technologie řezání laserem. Ze svitku plechového pásu je nastříháno několik pásů o délce 2 metry. Jelikož firma Klein & Blažek nevlastní svůj vlastní Laser, posílá tyto pásy do společnosti Komfí spol. s.r.o., výrobní závod Svěbohov, který pro firmu laserové řezání provádí. Společně s pásy plechu je dodán firmou Klein & Blažek 3D model požadovaného výpalku (viz obr. 28).



Obr. 28 3D model výpalku

Tvar výpalku odpovídá tvaru pásu, jako by prošel kompletní střížnou sekci postupového lisovacího nástroje. Jako by byly všechny razníky společně s matricí, stírací deskou a kotevní deskou vyrobeny. Jedná se vlastně o rozvinuté tvary výlisku,

kteře jsou uspořádaný za sebou ve vzdálenosti kroku postupového lisovacího nástroje a mezi sebou jsou spojeny spojovacím můstkem.

Takto vypálený pás plechu se následně ručně vsunuje do nástroje, a po každém zmáčknutí lisu se opět ručně pás plechu posune o vzdálenost kroku. Aby byla zaručena vždy správná poloha vypáleného pásu v nástroji, jsou společně s rozvinutým tvarem dílu do pásu vypálené otvory pro hledáčky. Tyto hledáčky v nástroji slouží k přesnému vystředění pásu vůči nástroji.

Takto získané výlisky se proměří a na základě zjištěných odchylek se provede úprava rozvinutého tvaru. Na oddělení konstrukce se úprava zanese do 3D modelů a připraví se nový model výpalku s upraveným, rozvinutým tvarem. Po této úpravě se následně nechá vypálit nový pás a následuje nové lisování. Celý tento proces se opakuje tak dlouho, dokud rozměry a tvar výlisku neodpovídají výkresové dokumentaci výlisku. Jakmile jsou takto vylisované díly v pořádku, teprve v tento okamžik se provede dokončení (dořezání) všech desek ve střižné sekci nástroje a také se vyřezou razníky. V tento okamžik je nástroj kompletně vyrobený a je teoreticky schopen sériové výroby.

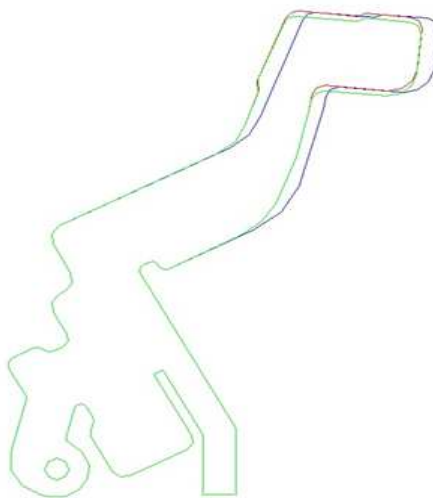
Mezi výlisky, které jsou zhotoveny laserem a výlisky z kompletního nástroje můžou být tvarové rozdíly, co se týče ořezu. Je to způsobeno rozdílnou strukturou ořezové hrany, kdy vypálená hrana má nepatrně jiné mechanické vlastnosti, než hrana vytvořená stříhem v nástroji. Dále také samotné lisování může způsobit nějaké drobné rozdíly, kdy ruční zavádění vypáleného pásu je samozřejmě mnohem méně přesné, než zavádění pásu automatickým podavačem. Nicméně tyto rozdíly jsou ve většině případů zanedbatelné a většinou se rozdíly v naměřených hodnotách pohybují v rozmezí 0,1 až 0,4 mm. Tyto rozdíly nejsou nijak velké, jelikož běžně používané výkresové tolerance pro ořezové hrany jsou v rozmezí $\pm 0,5$ až ± 1 mm.

7 Diskuze experimentů

Při realizaci projektu pro firmu Fuji Koyo bylo technologie laserového řezání při výrobě lisovacího postupového nástroje pro díl „Harness Clip“ využito v maximální možné míře. To znamená jak při samotné výrobě lisovacího postupového nástroje, kde se jednalo o výrobu spodních a horních kalených podložek, tak při odladování nástroje. Při odladování nástroje bylo možné vhodným zvolením technologie řezání laserem prakticky nahradit kompletní funkci střižné sekce nástroje, což ve výsledku přineslo nemalé úspory při realizaci tohoto projektu.

Postupový lisovací nástroj pro díl „Harness Clip“ obsahuje celkem 9 kusů kalených opěrných podložek (viz obr. 21). V původním postupu výroby nástroje byl zvolen materiál ocel ČSN 19 312 nebo ČSN 19733, kterou bylo nutné pro požadovanou tvrdost zakalit. Tento materiál je nahrazen materiálem s obchodním názvem TOOLOX 44, který už má již požadovanou tvrdost, a proto není nutno provádět následné kalení. Všechny tyto desky byly vyrobeny tedy z materiálu TOOLOX 44 a tvar i všechny otvory, které deska obsahuje, byly vypáleny Laserem. Z toho vyplývá, že nám odpadla jedna operace ve výrobním postupu, a k tomu změna nové technologie při výrobě nám přinesla značné úspory, což je v dnešní době velmi pozitivní.

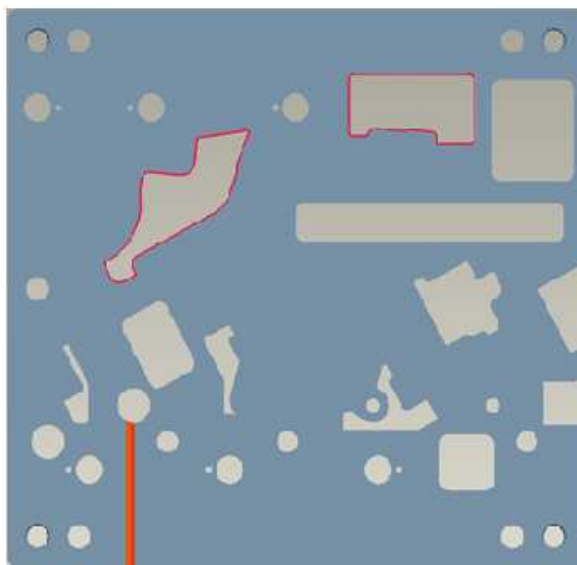
Při doladování nástroje a tedy konečného tvaru výlisku bylo nutné 5x upravovat tvar rozvinutého dílu. Porovnání tří největších korekcí při odladování je zobrazeno na obrázku (viz obr. 29). Tento poměrně vysoký počet korekcí byl způsoben tvarovou složitostí dílu. Vzhledem k požadovanému tvaru výlisku bylo možné spojovací můstek umístit v nástřihovém plánu pouze do jednoho místa a navíc ještě na úplný kraj pásu. Nejvíce tvarově složitá část je oprati tomu na úplně druhé straně dílu a vzhledem k tomu docházelo při tvarování dílce k poměrně značnému vytáčení (posouvání) rozvinutého tvaru.



Obr. 29 3D Jednotlivé korekce při odladování

Při úpravě nástroje původní technologií je nutno při korekci střížné kontury navařovat. Jakmile jednou přistoupíme k navařování střížných kontur, je nutné počítat s výrobou celého nového dílu, jelikož navařované hrany nejsou zákazníkem v sériové

výrobě povoleny. V případě dílu „Harness Clip“ se úprava rozvinutého tvaru týkala vždy pouze dvou razníků (viz obr. 30).



Obr. 30 Navařované střižné kontury

Při odladování výlisku bylo nutné 4x provést navaření střižné kontury u razníků a dvou desek (matrice a stírací deska). Kotevní deska zůstala původní, jelikož na této desce není nutné úpravy provádět. Nová se vyráběla společně se všemi novými deskami po odladění výlisku.

Při odladování nástroje při použití technologie řezání laserem není nutné uvažovat žádnou výrobu komponentů do střižných sekcí, ani žádné operace navařování a následného přeřezání drátovou elektrodou. Jak již bylo uvedeno dříve, bylo provedeno 5 zkoušek, a pro každou zkoušku byly vyřezány dva zkušební pásy. Celkem tedy na laseru bylo vypáleno 10 kusů zkušebních pásů o délce 2 metry.

8 Technicko ekonomické zhodnocení

8.1 Ekonomické zhodnocení využití laseru při výrobě nástroje

8.1.1 Původní postup výroby kalených podložek

Legenda použitá pro výpočet:

A1 – Hmotnost všech opěrných podložek (9 ks)	21 kg
B1 – Cena za 1 kg materiálu (ČSN 19 312)	50 Kč
C1 – Náklady na materiál	
D1 – Hodinová sazba stroje (CNC frézovací centrum)	650 Kč
E1 – Doba práce (CNC frézovací centrum)	1 560 min
F1 – Náklady na frézování	
G1 – Kalení 1 kg materiálu (firma Bodycote)	110 Kč
H1 – Náklady na kalení	
I1 – Hodinová sazba stroje (bruska)	800 Kč
J1 – Doba práce (bruska)	120 min
K1 – Náklady na broušení	
L1 – Celkové náklady na výrobu	

Kalkulace původního postupu výroby kalených podložek						
Náklady na materiál – C1	A1	*	B1		=	C1
	21	*	50		=	1 050 Kč
Náklady na frézování – F1	D1	*	E1	:	60	F1
	650	*	1560	:	60	16 900 Kč
Náklady na kalení – H1	A1	*	G1		=	H1
	21	*	110		=	2 310 Kč
Náklady na broušení – K1	I1	*	J1	:	60	K1
	800	*	120	:	60	1 600 Kč

Celkové náklady na výrobu kalených podložek původním postupem:

$$C1 + F1 + H1 + K1 = L1$$

$$1\,050 + 16\,900 + 2\,310 + 1\,600 = \mathbf{21.860,-\text{ Kč}}$$

8.1.2 Výroba kalených podložek s využitím technologie řezání laserem

Legenda použitá pro výpočet:

A2 –	Hmotnost všech opěrných podložek (9 ks)	21 kg
B2 –	Cena za 1 kg materiálu (TOOLOX 44)	150 Kč
C2 –	Náklady na materiál	
D2 –	Hodinová sazba stroje (laser)	850 Kč
E2 –	Celková délka řezu kontur	14 000 mm
F2 –	Rychlost řezání laserem (materiál tl. 8 mm)	400 mm/min
G2 –	Celková doba řezu (laser)	
H2 –	Přípravné práce (laser)	60 min
I2 –	Celková doba práce (laser)	
J2 –	Náklady na řezání (laser)	
K2 –	Hodinová sazba stroje (bruska)	800 min
L2 –	Doba práce (bruska)	120 min
M2 –	Náklady na broušení	
N2 –	Celkové náklady na výrobu	

Kalkulace výroby kalených podložek s využitím technologie řezání laserem						
Náklady na materiál – C2	A2	*	B2		=	C2
	21	*	150		=	3 150 Kč
Celková doba řezu (laser) – G2	E2	:	F2	=	G2	
	14 000	:	400	=	35 min	
Celková doba práce (laser) – I2	G2	+	H2	=	I2	
	35	+	60	=	95 min	
Náklady na řezání (laser) – J2	D2	*	I2	:	60	= J2
	850	*	95	:	60	= 1 345 Kč
Náklady na broušení – M2	K2	*	L2	:	60	= M2
	800	*	120	:	60	= 1 600 Kč

Celkové náklady na výrobu kalených podložek s využitím technologie řezání laserem:

$$C2 + J2 + M2 = N2$$

$$3\,150 + 1\,345 + 1\,600 = \mathbf{6\,095,-\text{ Kč}}$$

Výše úspor dosažená změnou technologie: 21 860 - 6 095 = 15 765,-Kč

Kromě ekonomického přínosu je zde ještě jeden kladný faktor, a tím je vytiženost frézovacího centra. S tím je samozřejmě spojený faktor termínů na realizaci. Kromě ceny je v dnešní době ze strany zákazníků kladen obrovský důraz na termín realizace. V dnešní době je snaha o neustálé zkracování dodacích termínů. Změnou technologie výroby kalených opěrných podložek firma získá kromě finančního přínosu také 26 hodin (téměř 3 a půl pracovní směny) kapacit na frézovacím centru, které se může využít pro výrobu jiné části postupového nástroje.

8.2 Ekonomické zhodnocení využití laseru při doladování nástroje

8.2.1 Původní postup doladování nástroje

V ekonomickém zhodnocení původního postupu doladování nástroje bude zahrnuta jedna kompletní výroba nových desek, 4x smyčka navařování a následného přeřezání drátovou elektrodou (5x změna kontury). Jak již bylo dříve zmíněno, úprava se týkala vždy pouze dvou razníků. Kalkulace tedy zahrnuje navařování a přeřezání těchto dvou kontur u razníků, matrice a stírací desky.

Celkové náklady na kompletní výrobu desek (matrice, stírací deska, kotevní deska) a razníků činí **60 000,-Kč**.

Legenda použitá pro výpočet:

A3 –	Hodinová sazba na navařování	800 Kč
B3 –	Doba práce (navarování)	120 min
C3 –	Náklady na navařování	
D3 –	Rychlost řezání drátovou elektrodou	3 mm/min
E3 –	Délka řezu (obvod řezné hrany matrice, stírací desky a razníku)	900 mm
F3 –	Celková doba řezu	
G3 –	Přípravné práce (řezání drátovou elektrodou)	90 min
H3 –	Celková doba práce (řezání drátovou elektrodou)	
I3 –	Hodinová sazba stroje (řezání drátovou elektrodou)	650 Kč
J3 –	Náklady na řezání (řezání drátovou elektrodou)	
K3 –	Náklady na jednu smyčku	

L3 – Počet provedených smyček korekcí

4

M3 – Náklady na čtyři smyčky korekcí

Kalkulace původního postupu dolad'ování nástroje						
Náklady na navařování – C3	A3	*	B3	:	60	= C3
	800	*	120	:	60	= 1 600 Kč
Celková doba řezu – F3	E3	:	D3	=	F3	
	900	:	3	=	300 min	
Celková doba práce – H3	F3	+	G3	=	H3	
	300	+	90	=	390 min	
Náklady na řezání – J3	I3	*	H3	:	60	= J3
	650	*	390	:	60	= 4 225 Kč
Náklady na jednu smyčku – K3	C3	+	J3			= K3
	1 600	+	4 225			= 5 825 Kč
Náklady na čtyři smyčky – M3	L3	*	K3			= M3
	4	*	5 825			= 23 300 Kč

Celkové náklady při původním postupu dolad'ování nástroje:

Do vyčíslení celkových nákladů při dolad'ování nástroje původním postupem musí tedy zahrnout náklady na čtyři smyčky korekcí a náklady na kompletní výrobu desek (matrice, stírací deska, kotevní deska) a razníků.

$$60\,000 + 23\,300 = 83\,300,-\text{Kč}$$

8.2.2 Postup dolad'ování nástroje s využitím technologie řezání laserem

Legenda použitá pro výpočet:

A4 – Celková délka řezu při jedné smyčce (2 pásy)	45 000 mm
B4 – Rychlost řezání laserem (materiál tl. 2 mm)	1 500 mm/min
C4 – Celková doba řezu	
D4 – Přípravné práce (laser)	30 min
E4 – Celková doba práce (laser)	
F4 – Hodinová sazba stroje (Laser)	850 Kč
G4 – Náklady na jednu smyčku	
H4 – Počet provedených smyček korekcí	5
I4 – Náklady na pět smyček korekcí	

Kalkulace výroby kalených podložek s využitím technologie řezání laserem							
Celková doba řezu – C4	A4	:	B4	=	C4		
	45 000	:	1 500	=	30 min		
Celková doba práce (laser) – E4	C4	+	D4	=	E4		
	30	+	30	=	60 min		
Náklady na jednu smyčku – G4	F4	*	E4	:	60	=	G4
	850	*	60	:	60	=	850 Kč
Náklady na pět smyček – I4	H4	*	G4	:		=	I4
	5	*	850			=	4 250 Kč

Celkové náklady na řezání všech pěti korekčních smyček činí 4 250,-Kč

Výše úspor dosažená změnou technologie: 83 300 – 4 250 = 79 050,-Kč

Stejně jako v předchozím případě můžeme konstatovat, že kromě finanční úspory také vzniká uvolnění výrobních kapacit, v našem případě především na drátových řezačkách. Proto je možno stroj využít pro výrobu jiné části postupového lisovacího nástroje.

8.3 Celkové vyhodnocení úspor vzniklých vhodným využitím řezání laserem

Pokud sečteme vzniklé úspory při výrobě nástroje a úspory při doladování nástroje, pak výsledná částka úspor činí:

$$15\,765 + 79\,050 = 94\,815,- \text{ Kč}$$

Při vhodném využití technologie řezání laserem činí vzniklá úspora při výrobě a doladování nástroje 94 815 Kč. Dalším pozitivem je uvolnění kapacit na dvou, pro nástrojárnu velice důležitých, strojích. Jedná se o frézovací centrum (ve fázi výroby nástroje) a drátovou řezačku (ve fázi doladování). V obou případech činí časová úspora asi 26 hodin, což je přibližně 3,5 pracovní směny.

9 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala výrobou lisovacího postupového nástroje pro konkrétně zadaný díl (díl „Harness Clip“), při které byla vhodně využita technologie řezání laserem a jejím následným vyčíslením vzniklých úspor. Technologie řezání laserem byla využita při samotné výrobě nástroje, kde se jednalo o výrobu kalených podložek a následně této technologie bylo využito při jeho odladování.

V úvodu této práce je v krátkosti zachycena historie firmy Klein & Blažek spol. s r.o. závod Štítý, její strojní vybavení a charakteristické výrobky, které společnost vyrábí. V navazující části byly popsány vhodné technologie, které by mohly být využity při výrobě postupového lisovacího nástroje. Nejvhodnější technologií pro náš konkrétní případ realizace výroby lisovacího postupového nástroje, byla zvolena již zmíněná technologie řezání laserem. Jelikož společnost Klein & Blažek spol. s r.o. nemá ve svém strojním vybavení laser, posílala v rámci této realizace výroby nástroje podložky a plechové pásy na řezání do společnosti Komfi spol. s r.o., která pro firmu laserové řezání prováděla.

V následující části práce byl popsán a znázorněn, lisovací postupový nástroj, který se skládá z mnoha jednotlivých částí. Jednou z částí jsou právě kalené podložky, které se vhodnou technologií laserové řezání vyrábí. V původním postupu výroby byl pro výrobu podložek použit materiál ČSN 19 312 nebo ČSN 19733, který bylo nutné pro předepsanou tvrdost zakalit. Tento materiál byl následně zaměněn za materiál TOOLOX 44, který má již předepsanou tvrdost v základním stavu. Při změně materiálu a vhodného využití technologie řezání laserem nám tahle změna přinesla nemalé úspory. Úspory dosaženy při výrobě podložek činily 15 765 Kč.

Následně technologie řezání laserem bylo využito při doladování nástroje. Při doladování nástroje bylo nutno provést pět smyček korekcí. Při původním postupu doladování bylo nutno korekce provádět navařováním desek (matrice, stírací deska) a razníků a jejich následném přeřezáním drátovou elektrodou. Nevýhoda provádění korekcí navařováním spočívá v tom, že v sériové výrobě nesmí být v nástroji navařované hrany. To sebou nese, že po odladění nástroje se všechny desky a razníky musí vyrobit znovu. Po vyčíslení pěti korekcí a výrobě nových desek a razníků činily celkové náklady na výrobu 83 300 Kč.

V novém postupu jsme vhodně využily technologii řezání laserem, kterou jsme byly schopni z praktického hlediska nahradit kompletní střížnou sekci nástroje, což ve výsledku přineslo nemalé úspory. Po provedení pěti smyček korekcí činily celkové náklady 4 250 Kč. Vhodnou změnou technologie při odladování nástroje jsme dosáhli úspor 79 050 Kč.

Celkové úspory vzniklé vhodným využitím technologie řezání laserem při výrobě lisovacího postupového nástroje činí 94 815 Kč.

10 Seznam použité literatury:

- [1] Propagační materiály firmy Klein & Blažek spol. s.r.o
- [2] Klein & Blažek spol. s r.o. Představení firmy, [online]. c2011, [cit.2012-04-01].
Dostupné z: < <http://www.kleibl.cz/> >
- [3] MÁDL, J.; KAFKA, J.; VRABEC, M.; DVOŘÁK, R.: *Technologie obrábění 3. díl*. ČVUT, Žižkova 4, 166 36 Praha 6, 2000, 246 s.
- [4] SADÍLEK, M.: *Nekonvenční metody obrábění I*, Skripta VŠB, Ostrava 2009,
1.vydání, s 152, ISBN 978 – 80 – 248 – 2107 – 8
- [5] MIČIETOVÁ, A.; MAŇKOVÁ, I.; VELÍŠEK, K. *Top trendy v obrábění, V. část – Fyzikálne technológie obrábania*. Žilina: Media / ST, s.r.o. Žilina, 2007. 236 s. ISBN 978 – 80 – 968954 – 7 – 2.
- [6] ŘASA, J.; POKORNÝ, P.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění 2. díl*. Praha: Scientia, spol. s.r.o. Praha, 2005. 222 s. ISBN 80 – 7183 – 336 – 3.
- [7] KOČMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2005. ISBN 80 – 214 – 3068 – 0.
- [8] KARAFIÁTOVÁ, S.; LANGER, I. *Nekonvenční technologie*. Havlíčkův Brod: FRAGMENT Havlíčkův Brod, Humpolecká 1503, 1. vydání 1998. ISBN 80 – 7200 – 296 – 1.
- [9] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2011. ISBN 978 – 80 – 7204 – 722 – 2.
- [10] Nekonvenční metody obrábění – 4. díl, [online]. c2011, [cit. 2012-21-01].
Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html> >
- [11] Laserové řezání (laser cutting) - LAO, [online]. c2011, [cit.2012-21-01].
Dostupné z: < <http://www.lao.cz/serial-laserove-rezani.htm> >
- [12] Neionizující formy záření, [online]. c2011, [cit.2012-21-01]. Dostupné z: < http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kra/externi/kra_7169/ch08.htm >
- [13] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina: Media / ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80 – 968954 – 2 – 7.
- [14] JURKO, J.; ZAJAC, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina: Media / ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80 – 968954 – 2 – 7.

- [15] ThyssenKrupp-Ferrosta, [online]. c2008, [cit.2012-11-03]. Dostupné z: < http://www.thyssenkrupp-ferrosta.cz/download/Valcovana_ocel_CZ_2008.pdf >
- [16] BAREŠ, K. *Lisování*. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, Praha 1, 1971. Typové číslo L13 – E1 – IV – 41/22221/X
- [17] STČ - Konference Studentské tvůrčí činnosti, [online]. c2012, [cit.2012-12-03]. Dostupné z: < http://stc.fs.cvut.cz/History/2007/Sbornik/S2/Kaiser_Viktor_12123.pdf >
- [18] Vysoké učení technické v Brně, [online]. c2012, [cit.2012-15-03]. Dostupné z: < http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39749 >
- [19] Mtwildeplanthire.co.uk, [online]. c2012, [cit.2012-12-04]. Dostupné z: < <http://www.mtwildeplanthire.co.uk/media/26814NEW%20QUOTE%20LC2415%204KW.pdf> >

11 Seznam příloh

ČÍSLO	NÁZEV	POČET STRAN
1	Výkres součásti „Harness Clip“ - číslo výkresu 48868	1
2	Výkres sestavy postupového lisovacího nástroje	1
3	Výkres s rozpisem pozic lisovacího postupového nástroje	1
4	Výkres opěrné spodní desky - číslo výkresu 2-4191-00-19	1
5	Materiálový list TOOLOX 44	1
6	Výkres matrice - číslo výkresu 1-4191-00-04	1